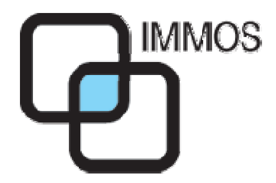
BMBF Verbundprojekt **IMMOS**



Integrierte Methodik zur modellbasierten Steuergeräteentwicklung

Förderkennzeichen (FKZ) **01 ISC 31**

Abschlussbericht Gesamtprojekt

Fraunhofer FIRST, Berlin
DaimlerChrysler AG, Forschung und Technologie, Berlin
dSPACE GmbH, Paderborn
IT Power Consultants Dr. Sadeghipour Kalantary GbR, Berlin
Universität Paderborn
FZI Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe

Prof. Dr. H. Schlingloff (für das Konsortium)

Berlin, 9.10.2007

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01 IS C31 A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

---

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Schlussbericht zu Nr. 8.2 NKBF 98
–zusammenfassender Abschlussbericht Gesamtprojekt–

Zuwendungsempfänger:	*Förderkennzeichen:*
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 80031 München Fraunhofer Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik FIRST, Kekulèstr. 7, 12489 Berlin	01ISC31
Vorhabensbezeichnung: IMMOS - Integrierte Methodik zur modellbasierten Steuergeräteentwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2004-31.10.2006	
Berichtszeitraum: 01.01.2004-31.10.2006	

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Aufgabe des Forschungsprojektes war die Definition und Erprobung einer integrierten Methodik zur modellbasierten Steuergeräteentwicklung für den Automobilbereich. Ziel dieser Methodik sollte sein, die bereits existierenden modellbasierten Einzeltechniken, vor allem die modellbasierte Anforderungsanalyse, die modellbasierte Codegenerierung und den modellbasierten Test zu einer einheitlichen Entwicklungsmethodik zu integrieren. Weiterhin sollte die Leistungsfähigkeit der Methodik anhand einer industriellen Fallstudie, einer Lenklichtsteuerung, demonstriert werden.
Die klassischen Methoden zur Entwicklung eingebetteter Softwaresysteme werden den spezifischen Herausforderungen der Automobilbranche mittlerweile nicht mehr gerecht. Diese Anwendungsdomäne ist durch stetig verkürzte Entwicklungszeiten für (sicherheitsrelevante) Anwendungen für einen Massenmarkt geprägt. Dabei sind bei der Steuergeräte-Entwicklung komplexe Wechselbeziehungen zwischen Automobilherstellern und Zulieferern, in der Regel mittelständische Unternehmen, zu beachten. Daher erfolgt seit Mitte der 90er Jahre die Steuergeräteentwicklung zunehmend modellbasiert. Dieses Entwicklungsparadigma schlägt die Brücke zwischen

- der Erstellung von ausführbaren Funktionsmodellen,
- der Generierung ausführbaren Codes aus Funktionsmodellen sowie
- der automatischen Testfallgenierung auf Basis solcher Modelle,

und besitzt ein erhebliches Potential zur Beschleunigung der Entwicklungsprozesse sowie zur Steigerung der Qualität der resultierenden Produkte. Erste modellbasierte Entwicklungsprojekte zeigten dabei massive Vorteile gegenüber der klassischen Softwareentwicklung für Steuergeräte. Der modellbasierte Ansatz kann die Effizienz der Zusammenarbeit zwischen

Automobilherstellern und ihren Zulieferern verbessern und somit die Wettbewerbsfähigkeit beider Seiten stärken.

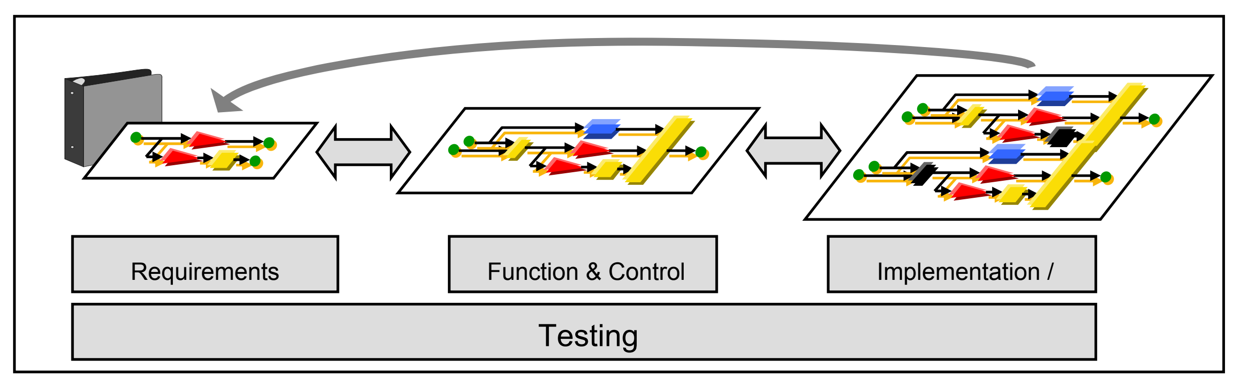


Abbildung 1: Modellbasierter Testprozess

Im Einzelnen waren folgende Arbeitspakete geplant:

- **AP0**: Projektleitung
  Aufgabe der Projektleitung war die Koordination des Gesamtprojektes, Controlling der Beiträge der Verbundpartner, Kommunikation mit dem Zuwendungsgeber sowie die Gesamtrepräsentation des Projektes nach außen.
- **AP1**: Anforderungsverwaltung
  Im Rahmen dieses Arbeitspaketes sollte ein semantischer Kern definiert werden, der einerseits textuell formulierte Anforderungen zulässt, der aber zugleich eine inhaltsbezogene Verfeinerung von sowohl funktionalen wie nichtfunktionalen Anforderungen in die modellbasierte Entwicklung unterstützt.
- **AP2**: Codegenerierung in sicherheitsrelevanten Anwendungsgebieten
  Thematischer Schwerpunkte der Arbeiten in diesem Arbeitspaket sollte die Absicherung der modellbasierten Implementierung mittels Codegenerierung sein. Auf Basis des durchgehenden Informationsmodells sollte die Absicherung einer automatischen Codegenerierung erarbeitet werden, die eine auf aktuellen Qualitätssicherungsnormen aufbauende Implementierung der Steuergerätesoftware erlaubt.
- **AP3**: Modellbasierter Test
  In diesem Arbeitspaket sollten die Voraussetzungen für einen modellbasierten Testprozess, der direkt mit der modellbasierten Softwareerstellung synchronisiert ist, geschaffen werden. Dieser Testprozess sollte in der Lage sein, auch Mischsysteme aus teils manuell und teils modellbasiert entwickelten Funktionen hinreichend abdecken zu können. Der Testprozess sollte auf Grundlage des im Projekt entwickelten Informationsmodells methodisch fundiert werden.
- **AP4:** Integrierte Methodik für die modellbasierte Systementwicklung
  Im Rahmen dieses Arbeitspaketes sollte ein Verfahren zur Aufstellung von Informationsmodellen, mit denen eine domänenspezifische Beschreibung der eingesetzten Methoden und deren Informationsgehalt erfolgen kann, erarbeitet werden.

- **AP5**: Modellbasierte Entwicklung eines Demonstrators
  Zur Demonstration der Anwendbarkeit der Projektergebnisse sollte in diesem Arbeitspaket Teile der Software eines automobilen Steuergerätes modellbasiert entwickelt werden. Zunächst war hier an ein Steer-by-Wire-System gedacht, später wurde dies jedoch zu einer Lenklichtsteuerung geändert (siehe unten). Der Demonstrator sollte die wesentlichen Komponenten eines elektronischen Steuergerätes enthalten und die Effizienz- und Qualitätssteigerung der erarbeiteten Methodik nachweisen.
- **AP6:** Exploitation und Dissemination
  Für die verschiedenen Einzelergebnisse des Projektes waren verschiedene Exploitations- und Disseminations-Aktivitäten vorgesehen, die eine weite Verbreitung und den nachhaltigen Einsatz der Arbeitsergebnisse garantieren.

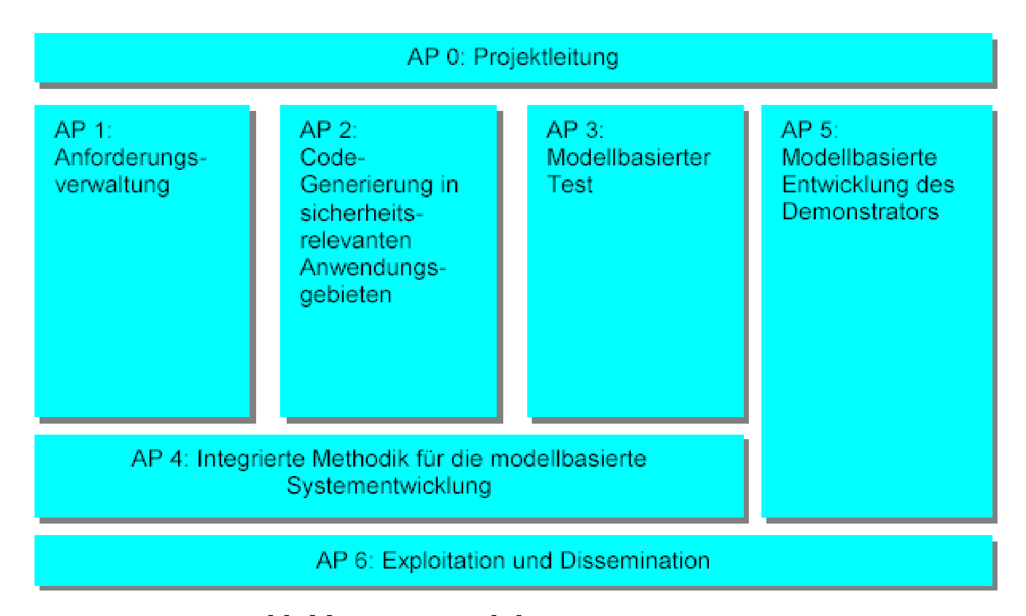


Abbildung 2: Projektkonzeption

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Konsortium des IMMOS-Projektes bestand aus mittelständischen Werkzeugherstellern und Beratungsunternehmen (dSPACE, ITPower) für die Automobilindustrie, aus Universitäten und Forschungseinrichtungen mit automobilem Hintergrund (FIRST, FZI, UniPB), sowie aus einem großen Hersteller zur Pilotierung (DaimlerChrysler). Durch diese Zusammensetzung war eine optimale Abdeckung und Aufteilung der Projektinhalte und –ziele möglich. Alle Partner hatten bereits Erfahrung mit der modellbasierten Entwicklung und waren sich der anstehenden Aufgaben und Probleme bewusst.
Für die einzelnen Arbeitspakete konnte auf folgende Vorarbeiten aufgebaut werden:

- **AP1**
  Beim Konsortialpartner FZI waren Vorkenntnisse über Beschreibungsmittel und Werkzeuge zur Spezifikation von Software und Hardware eingebetteter Systeme vorhanden, mit Hauptaugenmerk auf der Werkzeugintegration von CASE-Werkzeugen. An den beteiligten Lehrstühlen „Entwurf paralleler Systeme“ (Rammig) und „Datenbank- und Informationssysteme“ (Engels) der Universität Paderborn waren theoretische Methoden zur Spezifikation und Modellierung von Automobilelektronik mit Petrinetzen entwickelt worden. Bei FIRST waren durch den Bereich SVT „Synthese, Validierung und Test“ (Schlingloff) umfangreiche Vorkenntnisse über logische Modellierungsformalismen vorhanden. DaimlerChrysler hatte Forschungsarbeiten über modellbasierte Spezifikationstechniken und ihre Verknüpfung mit den zugehörigen Anforderungen durchgeführt.
- **AP2**
  Der Konsortialpartner dSPACE verfügte mit dem Produkt TargetLink über einen der beiden verbreitetsten Codegeneratoren für Simulink-Modelle. Beim Konsortialpartner DaimlerChrysler liefen erste Vorüberlegungen zur Absicherung des mittels generierten Codes und des Codegenerators selbst.
- **AP3**
  DaimlerChrysler beschäftigte sich seit geraumer Zeit mit der systematischen Konstruktion von Testfällen, zum Beispiel mittels der Klassifikationsbaummethode, sowie mit Werkzeugen zur Ausführung von Tests für Automobil-Steuergeräte. Fraunhofer FIRST hatte aus einigen Vorprojekten Erfahrung mit der automatischen Erzeugung von Tests aus Modellen. ITPower hatte Erfahrung mit dem Test und dem Einsatz von Test-Tools im Bereich der automobilen Steuergeräte.
- **AP4**
  DaimlerChrysler führte zu Beginn des Projektes Forschungsarbeiten zur Verknüpfung modellbasierter Spezifikationen mit den zugehörigen Anforderungen durch. Das FZI hatte theoretische Untersuchungen durchgeführt über integrierte Entwurfsmethodiken zur Durchgängigkeit von Modellen über verschiedene Entwurfsphasen hinweg.
- **AP5**
  Die Partner Fraunhofer FIRST und FZI hatten bereits etliche Steuergeräte-Prototypen erstellt. Der Konsortialpartner ITPower hatte Erfahrungen mit dem Aufbau von integ-

rierten Werkzeugketten für die Entwicklung der Steuergeräte-Software und die Durchführung von Qualitätssicherungsmaßnahmen. DaimlerChrysler hatte einen Demonstrator (Bremsassistent) entwickelt, von dem Teile der Spezifikation und der Software verwendet werden konnten.

Im Gegensatz zu den *fachlichen* Voraussetzungen waren die *personellen* Voraussetzungen des Projektes weniger klar, da die Zuordnung von Mitarbeitern zu Arbeitspaketen und Aufgaben aus verschiedenen Gründen bei den meisten Konsortialpartnern erst spät entschieden werden konnte.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Bereits während der Erstellung des Antrags (2002) und in der Vorbereitungsphase (2003) fand ein intensiver Ideenaustausch zwischen den Partnern statt. So fand das erste „inoffizielle“ Gesamt-Projekttreffen zur Vorabstimmung bereits am 25.11.2003 bei FIRST statt. Bei diesem Treffen wurden für die einzelnen Arbeitspakete Teilprojektleiter festgelegt:

- AP0: FIRST (Prof. Schlingloff)
- AP1: dSPACE (Hr. Stroop)
- AP2: DaimlerChrysler (Hr. Stürmer, später ersetzt durch Dr. Dörr)
- AP3: DaimlerChrysler (Hr. Conrad, später ersetzt durch Hrn. Großmann)
- AP4: FZI (Dr. Kühl, später ersetzt durch Hrn. Kotschenreuther)
- AP5: FZI (Dr. Kühl), später ersetzt durch ITPower (Dr. Sadeghipour)

Mit dem Projektantrag war folgende Meilensteinplanung festgelegt worden.

Meilenstein	**Datum**
Kickoff-Meeting	Projektbeginn
Bestandsaufnahme / Bewertung vorhandener Techniken, Prozesse und Werkzeuge	31. August 2004
Zwischenpräsentation	Frühjahr 2005
Prototypen der Einzeltechniken	29. Juli 2005
Prototyp der integrierten Methodik	29. Juli 2005
Integrierte Methodik	30. Dezember 2005
Evaluierte Einzeltechniken	31. Mai 2006
Demonstrator	31. Mai 2006
Abschlußpräsentation	Sommer 2006

Tabelle 1: Ursprüngliche Meilensteinplanung

Auf Grund einer späten endgültigen Zusage über das Zustandekommen des Projektes und die Erteilung der Zuwendungsbescheide (1. Quartal 2004) war jedoch der Projektstart bei den einzelnen Partnern unterschiedlich. Dadurch entstand bereits zu Beginn eine leichte Verzögerung (2-3 Monate), die auch im Verlauf des Projektes nicht mehr eingeholt werden konnte. Jedoch konnten bereits auf der IT2006-Starttagung in Berlin (1.-3.7.2004) neben den Zielen auch erste Ergebnisse vorgestellt werden. Die Resonanz der Fachkollegen auf die Präsentation konnte als durchweg positiv beurteilt werden. Bereits vor Projektstart wurde ein gemeinsame Arbeitsumgebung für das Gesamtprojekt eingerichtet (Daten-Repository, CSCW-Server (computer supported cooperative work), Webseiten, Web-Portal usw.) Diese wurde im Projektverlauf intensiv genutzt, vor allem um einen einheitlichen Dokumentenstand z.B. für Deliverables zu gewährleisten. Für die gemeinsame Nutzung der eingebrachten Werkzeuge wurden zu Projektbeginn zwischen den Projektteilnehmern bilaterale Verträge geschlossen; die Kooperation gestaltet sich in dieser Hinsicht äußerst unproblematisch. Bei der Vereinbarung über den Kooperationsvertrag gab es jedoch längere Verhandlungen zwischen zwei Projektpartnern über die Modalitäten der Nutzung der Projektergebnisse nach Abschluss des Gesamtprojektes. Daher verzögerte sich die Ratifizierung des Konsortialvertrages bis in das zweite Halbjahr des Projektes (Oktober 2004). Bereits im Januar 2005 zeichnete sich ab, dass der ursprünglich geplante Demonstrator (Steer-by-wire bzw. Break-by-wire) auf Grund externer Umstände nicht realisierbar sein würde; daher wurde Ende 2005 beschlossen, als Demonstrator eine Lenklicht-Steuerung mit zugehörigem ein Hardware-in-the-loop-Testsystem zu entwickeln. Im Juni 2005 fand die Meilensteinabnahme mit Vertretern des Zuwendungsgebers statt. Vom Projektträger wurde anerkannt, dass das Projekt wissenschaftlich sehr erfolgreich arbeitet, die Meilensteine wurden formal abgenommen. In der zweiten Projekthälfte fanden verstärkt Disseminations-Aktivitäten (Teilnahme an Messen, Organisation von Fachkongressen etc.) statt. Dementsprechend wurde auch der Demonstrator plangemäß erst gegen Ende des Projektes entwickelt; durch den Wechsel des Demonstrators entstandene Mehraufwände wurden durch die Projektteilnehmer selbst getragen. Insgesamt ergab sich im Projekt daher eine gegenüber der ursprünglichen Planung eine um 4 Monate verlängerte Laufzeit. Die Abschlussveranstaltung zum Projekt fand am 13.12.2006 bei FIRST im Beisein des Projektträgers statt, der die Erreichung der Projektziele und den Erfolg des Projektes bestätigte.

Ein Problem, mit dem dieses Projekt (wie vermutlich alle Förderprojekte mit hoher Außenwirkung) fertig werden musste, war die außerordentlich hohe Fluktuation der Projektmitarbeiter. Während der Projektlaufzeit bekamen mehr als die Hälfte der Projektmitarbeiter attraktive Angebote von Dritten, die sie auch wahrnahmen. Durch vorausplanendes Management und balancierte Verteilung der Aufgaben konnten jedoch negative Auswirkungen auf den Projektverlauf weitgehend vermieden werden.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Bereits im Projektantrag war betont worden, dass in Deutschland die Automobilbranche neben der Informations- und Kommunikationstechnik einer der Sektoren mit den größten technischen Innovationen ist. Ein ähnlicher Trend ist auch im europäischen Ausland und in den Vereinigten Staaten von Amerika zu erkennen. Dabei gilt die deutsche Automobilbranche als der Vorreiter für technische Innovationen, die einige Zeit später erst von anderen Firmen im Ausland übernommen werden können. Beispiele für technische Innovationen der letzten Jahre sind der Abstandsregeltempomat (ART), das elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) oder Telematiksysteme. Bereits vor Projektbeginn war erkennbar, dass sich Anstrengungen in der Weiterentwicklung der Kfz-Elektronik auf Funktionen für sicheres und unfallfreies Fahren verschieben. Diese Funktionen dienen zur aktiven Warnung des Fahrers vor Gefahrensituationen (Unfallverhütung) oder können in bestimmten Fällen vollständig autonom die Fahrzeugführung (z.B. Einparkhilfen, Querregelung etc.) übernehmen. Um den Größen- und Komplexitätszuwachs der Softwareanteile heutiger Kraftfahrzeuge zu beherrschen und die Entwicklungszeiten durch eine höhere Effizienz zu reduzieren, versuchten Automobilhersteller und -zulieferer in zunehmenden Maße, die Software eingebetteter Systeme modellbasiert zu entwickeln. Bereits frühzeitig im Entwicklungsprozess wird ein ausführbares Modell des Steuerungs- und Regelungssystems erstellt, das zunächst zusammen mit Streckenmodellen simuliert und später direkt auf dem Steuergerät implementiert werden kann. Das ausführbare Modell der zu realisierenden Software dient dabei als Basis aller weiteren konstruktiven und analytischen Entwicklungsschritte. Gegenüber der klassischen Vorgehensweise versprachen sich dabei viele Vorteile:

- Effizienzgewinn durch den Einsatz modellbasierter Implementierungstechniken (Codegenerierung)
- Steigerung der Qualität durch Test und Erprobung auf Modellebene
- Steigerung der Zuverlässigkeit durch hohe Testabdeckung
- Zeitersparnis durch Automatisierung der Testerstellung, der Testausführung und der Testdokumentation
- Frühzeitige Erkennung von Problemen während oder sogar schon vor der Implementierung
- Unterstützung von Entwicklung und Wartung durch konsequente Dokumentation

Da die modellbasierte Softwareentwicklung bei Beginn des Projektes noch eine relativ junge Technologie war, war sie in wichtigen Bereichen nicht ausreichend unterstützt. Für den flächendeckenden Einsatz dieser Technologie war eine systematische Verfeinerung der vorhandenen Methoden und Werkzeuge und deren Integration notwendig. Der Einsatz in sicherheitsrelevanten Innovationen erforderte insbesondere die Verbindung von konstruktiven und analytischen Techniken zur Gewährleistung der Qualität (Zuverlässigkeit) der Steuergeräte.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Von den beteiligten Partnern kooperierte FIRST mit der Humboldt-Universität zu Berlin (Prof. Schlingloff), die Universität Paderborn mit der Siemens AG im Rahmen des C-LAB (Dr. Müller). Mit den ausgegründeten Firmen aquintos (Dr. Kühl) und Model Engineering Solutions (Dr. Stürmer) herrschte eine enge Kooperation über die Geschäftsführer bzw. ehemaligen IMMOS-Mitarbeiter.

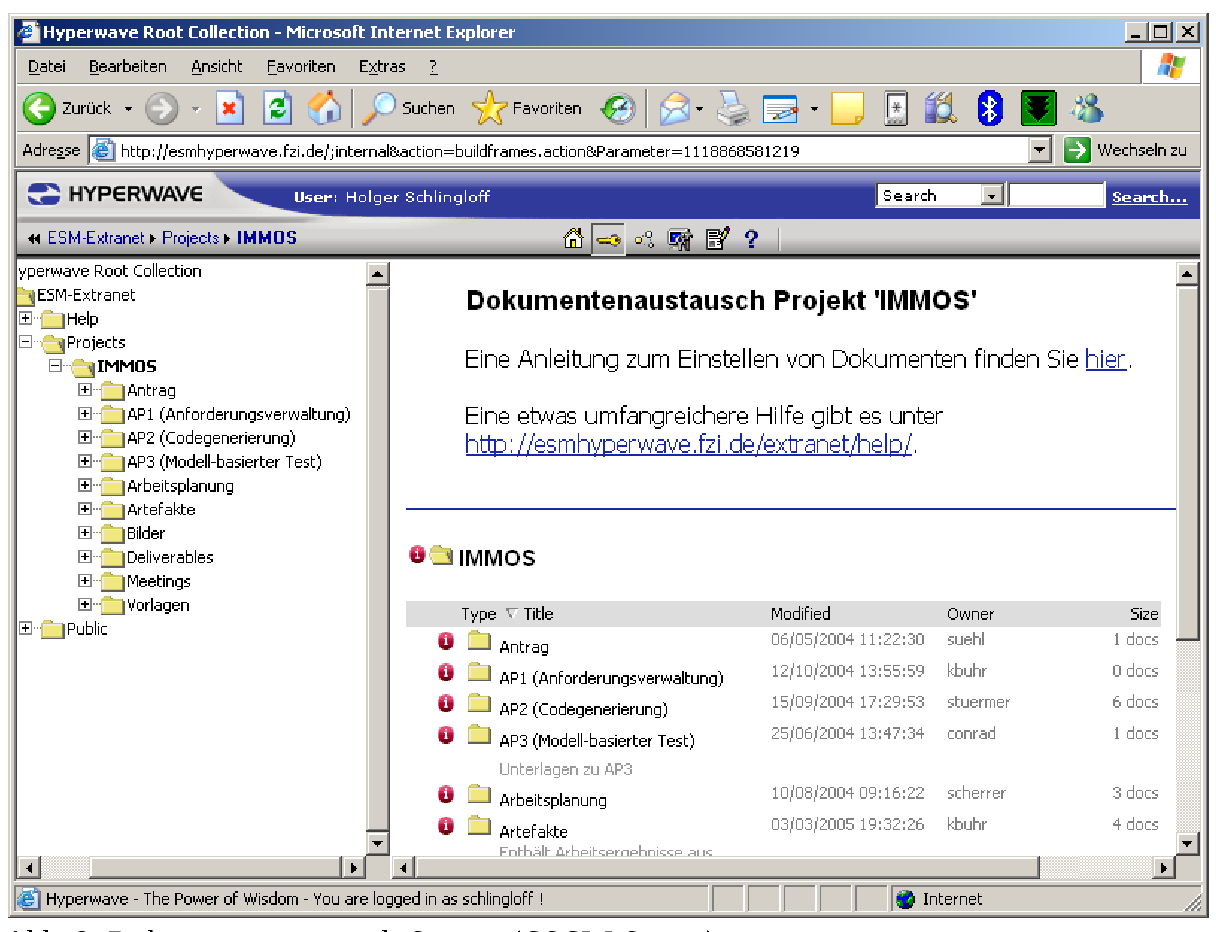


Abb. 3: Dokumentenaustausch-System (CSCW-Server)

II. Eingehende Darstellung

Im Projekt IMMOS wurde der modellbasierte Entwicklungsprozess automobiler Steuergeräte-Software substantiell verbessert. Es wurde eine integrierte Methodik entwickelt und in zahlreichen Publikationen der Öffentlichkeit bekannt gemacht, ein industrieller Arbeitskreis zur Validierung automatisch generierten Codes initiiert, das offene XML-Format „TestML" zum Austausch von Tests zwischen den verschiedensten Werkzeugen definiert und öffentlich frei verfügbar gemacht, ein Demonstrator entwickelt und auf Messen und Ausstellungen präsentiert, und Spin-Off Unternehmen für die Dissemination der entwickelten Werkzeuge zur Verwaltung von Anforderungen und Richtlinien gegründet. Das Projekt zeichnet sich auch durch ein hohes Publikationsvolumen, mehrere Buchveröffentlichungen und eigene Tagungsbände aus. Aus dem Projekt entstanden zwei florierende Spin-Off-Unternehmen mit bislang über 25 Mitarbeitern.

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

AP 1. Anforderungsverwaltung

Die Entwicklungsprozesse für automobile Steuergeräte weisen typischerweise phasenbezogene Ausprägungen auf. Es zeigt sich jedoch, dass Anforderungsbeschreibungen nicht homogen über diesen Prozess verfeinert, sondern oftmals redundant für verschiedene Phasen erstellt werden. Daraus ergeben sich eine Vielzahl von Problemen hinsichtlich des Aufwandes zur Verwaltung von Anforderungen, zur Sicherung der Konsistenz und so weiter. Hinzu kommt, dass die bestehenden Lösungen zur Verwaltung von Anforderungen domänenunabhängig ausgelegt sind und kaum Möglichkeiten für eine semantische Integration in die verschiedenen Entwicklungsphasen mitbringen. Im Rahmen des Arbeitspaketes sollte ein semantischer Kern definiert werden, der einerseits textuell formulierte Anforderungen zulässt, der aber zugleich eine inhaltsbezogene Verfeinerung von sowohl funktionalen wie nichtfunktionalen Anforderungen in die modellbasierte Entwicklung unterstützt. Mit einer derartigen Fundierung kann die Verwaltung und Überprüfung von Anforderungen den gewünschten zentralen Stellenwert erhalten und direkt zur Qualitätssicherung beitragen. Zugleich kann ein derartiger Ansatz das traditionell aufgabenteilige Zusammenspiel von Herstellern und Zulieferern verbessern. Zur nahtlosen Einbindung von Anforderungsbeschreibungen in die modellbasierte Entwicklung ist es erforderlich, die auf eine zu definierende Strukturierung beschränkten Anforderungen in modellbasierte Beschreibungen umzusetzen, z.B. unter Verwendung von Zustandsdiagrammen für funktionale Teile und deskriptiven Ausdrücken für nichtfunktionale Teile. Sowohl für die funktionalen wie auch die nicht funktionalen Anteile gibt es Industriestandards bzw. Standardisierungsbemühungen, auf die im Rahmen dieses Vorhabens aufgesetzt werden kann. Mit einer Abbildung der Anforderungsbeschreibungen auf ein Ausführungsmodell wird eine anwendungsspezifische Semantik definiert. Damit ist es dann auch möglich, die Einhaltung der spezifizierten Anforderungen mit Simulation und ggf. weiteren etablierten Analysemethoden partiell zu überprüfen.

Aufgabenstellungen von AP1

Detaillierte Analyse von typischen Erwartungen an einen durchgängigen Prozess zur

- Verwaltung und Überprüfung von Anforderungen
- Bewertung bestehender Verfahren zur Erstellung und Verwaltung von Anforderungen
- Konzept für eine semantische Unterstützung
- Prototypische Umsetzung zur Integration in MATLAB/Simulink

Ergebnisse von AP1

In AP1 wurden zunächst die typischen Erwartungen an einen durchgängigen Prozess zur Verwaltung und Überprüfung von Anforderungen diskutiert und in einem Kriterienkatalog zur Bewertung von Werkzeugen zur Anforderungserfassung und –verwaltung zusammengefasst. Dieser Kriterienkatalog wurde in verschiedenen Publikationen veröffentlicht. Ein besonders wichtiger Aspekt der modellbasierten Entwicklung ist dabei die Rückverfolgbarkeit von Anforderungen (Traceability). An Hand des Katalogs wurde eine Reihe von marktgängigen Werkzeugen evaluiert (DOORS, Requisite Pro und andere). Die Resultate dieser Analyse wurden im weiteren Projektverlauf auch von den anderen Arbeitspaketen verwendet. Die Arbeiten bildeten insbesondere die Basis für die Deliverables D1.1 und D1.2. In D1.1 wurde die Informationsmodellierung konkretisiert und eine Einordnung der Anforderungsanalyse in den Gesamtprozess vorgenommen. In D1.2 wurden die Aktivitäten des Requirements Managements spezifiziert sowie Methoden- und Prozessmodelle für die modellbasierte Anforderungsanalyse analysiert.

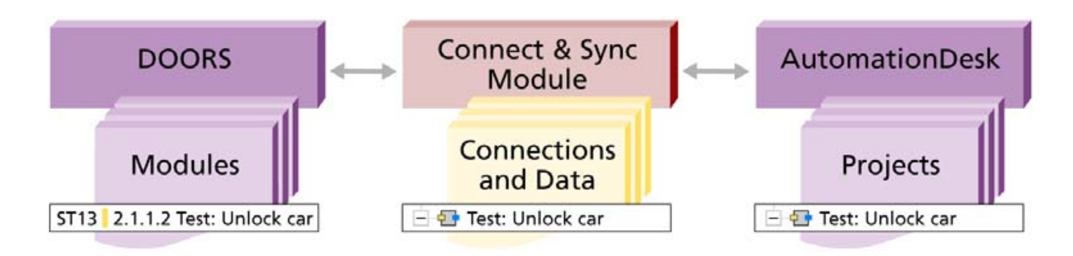


Abbildung 4: Connect&Sync-Modul

Die entsprechenden Deliverables wurden im Juni 2005 abgeschlossen. Aufbauend auf diesen Arbeiten wurde ein Kriterienkatalog für Requirements-Management-Werkzeuge erstellt, der Rollen und Aufgaben im Requirements Management und die Anforderungen an einen durchgängigen modellbasierten Prozess berücksichtigt. Anhand dieses Kriterienkatalogs wurden verschiedene Werkzeuge (DOORS, Requisite Pro, IRqA, Caliber RM, Word) auf ihre Tauglichkeit evaluiert. Die Arbeiten waren Grund legend für die später in Werkzeugen realisierte Anforderungsverwaltungsmethodik.
Im weiteren Verlauf des Projektes wurden zur Beschreibung von Spezifikationsmethoden für die Verbindung von Requirements Management und Requirements Engineering die Informationsgehalte gesammelt und konsolidiert. Die Deliverables D1.4a „Konzeption der Integration“ und D1.4b „Prototyp“ stellen die theoretischen Ergebnisse des Arbeitspaketes konzise dar.

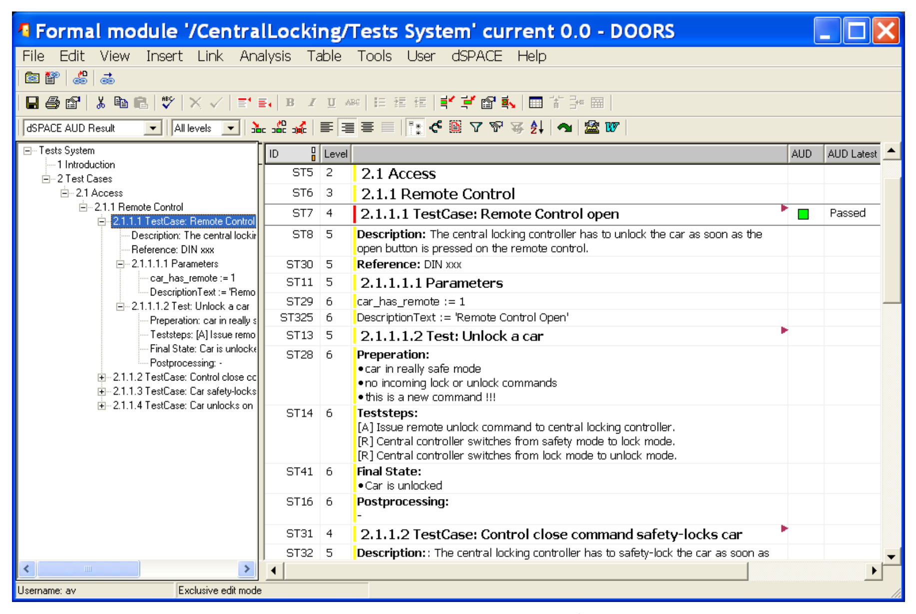


Abbildung 5: DOORS-Testspezifikationsmodul

Der zweite Arbeitsstrang in AP1 waren Ergebnisse zur Meta- und Informationsmodellierung. Es wurde der Zusammenhang mit AP4 (Integrierte Methodik) diskutiert; insbesondere die Frage der Ausgestaltung der Tools wurde davon im weiteren Projektverlauf beeinflusst. Die Arbeiten zum „Konzept einer semantischen Unterstützung" (Task 1.3) erfolgte in enger Abstimmung mit AP4, um Informationsmodelle und Methoden in den Gesamtkontext der Steuergeräteentwicklung integrieren zu können. Als Vorarbeit für T4.2.1 wurden in AP1 Informationsgehalte der Disziplinen Requirements-Management und Requirements-Engineering analysiert und in Bezug auf die Methodenbeschreibung formalisiert.
Zur prototypischen Umsetzung wurde beschlossen, anstelle des externen Werkzeug MATLAB / Simulink ein Testwerkzeug des Projektpartners dSPACE zu verwenden. Daraus ergaben sich sowohl Vorteile in der Umsetzung der Arbeiten als auch deutlich bessere Verwertungsmöglichkeiten, ohne dass die grundsätzlichen Ziele berührt wären. Es wurde eine prototypische Kopplung von DOORS und MTest / AutomationDesk erarbeitet. Die entsprechenden Resultate wurden in den Verwertungsplan von ITPower aufgenommen.

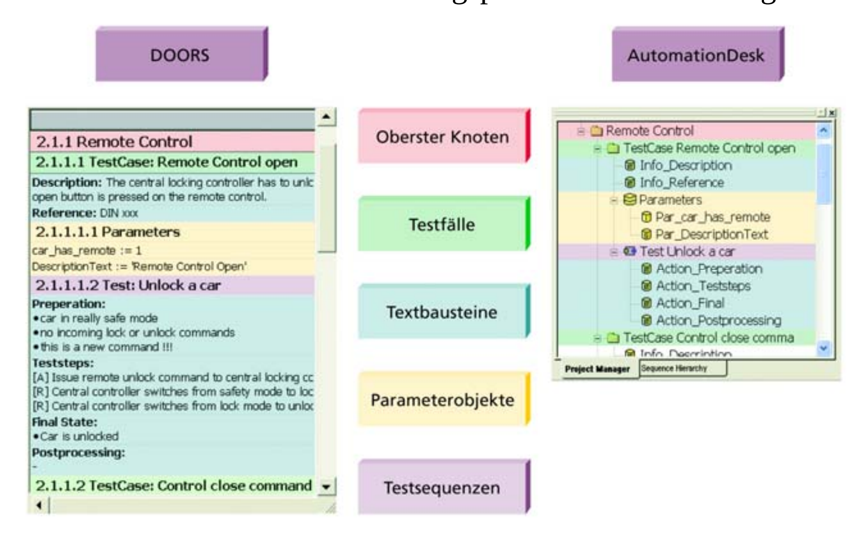


Abbildung 6: Regelbasierte Synchronisation

AP 2. Codegenerierung

Einer der wesentlichen Vorteile der modellbasierten Entwicklung ist der Effizienzgewinn durch eine automatische Codegenerierung. Kommt diese in sicherheitsrelevanten Anwendungen zum Einsatz, ist eine geeignete Absicherung unumgänglich. Es war daher vorgesehen, dass sich die thematischen Schwerpunkte der Arbeiten in AP 2 auf die Absicherung der modellbasierten Implementierung mittels Codegenerierung konzentrieren. Auf Basis des durchgehenden Informationsmodells sollte eine Absicherungsmethodik für automatische Codegenerierung erarbeitet werden, die eine auf aktuellen Qualitätssicherungsnormen aufbauende Implementierung der Steuergerätesoftware ermöglicht. Im Rahmen des Arbeitspaketes sollten Möglichkeiten zur Zertifizierung von Codegeneratoren bzw. des generierten Codes im automobilen Umfeld untersucht werden. Da die Betriebsbewährtheit der Codegeneratoren durch den schnellen Technologiewandel in diesem Bereich nicht vorausgesetzt werden kann, sollte die jeweilige Codegeneratorkonfiguration zusätzlich absicherbar sein. Hierzu sollte eine generische Testsuite für Codegeneratoren entwickelt werden, die die Absicherung der Codegenerierung im Rahmen sicherheitsrelevanter Anwendungen unter Berücksichtigung der verschiedenen Entwicklungsstadien der Steuergeräte und der Host-Target-Problematik wirkungsvoll unterstützt.

Aufgabenstellungen von AP2

- Bestandsaufnahme Absicherungsverfahren für die modellbasierte Implementierung
- Bestandsaufnahme Testsuiten für herkömmliche Hochsprachencompiler
- Entwicklung und exemplarische Erprobung einer Testsuite für Codegeneratoren

Ergebnisse von AP2

Die Arbeiten in AP2 konzentrierten sich zunächst auf die Erstellung von Spezifikationen für Modelle sowie auf die Korrektheit des aus den Modellen generierten Codes. Als erster Schritt wurden Teile eines umfangreichen Beispiels formal modelliert und auf ihre Eignung zur Codegenerierung untersucht. Die Arbeiten zur Bestandsaufnahme und Bewertung von Absicherungsverfahren für die modellbasierte Implementierung wurden in Deliverable D2.1 dokumentiert und in verschiedenen Publikationen veröffentlicht. Weiterhin wurde der gesamte modellbasierte Entwurfsprozess, wie er derzeit bei den Partnern eingesetzt wird, in einer Überblicksdarstellung zusammengefasst, in Publikationen veröffentlicht und auf mehreren Veranstaltungen präsentiert. Zur manuellen Absicherung des generierten Codes wurde eine Toolkette (Matlab/Simulink und TargetLink sowie weitere Werkzeuge) aufgesetzt, die automatische Codeerzeugung an verschiedenen Beispielen wurde getestet und ein Verfahren zum Review des automatisch generierten Codes definiert. Es wurde eine Web-basierte „e-Guideline Infrastruktur“ implementiert, die das Review von Artefakten der modellbasierten Entwicklung unterstützt. Als Inhalte wurden u.a. „Design for Testability“-Richtlinien sowie Autocode-Richtlinien aufgearbeitet und verfügbar gemacht. Für die Verfahrensbeschreibung zum Review wurde darauf aufbauend eine Umsetzung der Vorgehensweise für die Code-Absicherung konzipiert (e-Guidelines) und prototypisch implementiert. Die entstandene Werkzeugumgebung wird inzwischen von dem Spin-Off-Unternehmen Model Engineering

Solutions weiter gepflegt (http://www.e-guidelines.de) und nach Projektabschluss beispielsweise um die MAAB V2.0 Guidelines erweitert. Sie steht allen interessierten Anwendern nach Registrierung offen. Weiterhin wurde im Rahmen des IMMOS AP2 an der Gründung der Working Group „Autocode“ der MISRA mitgewirkt, in die die Konzepte eingebracht wurden.

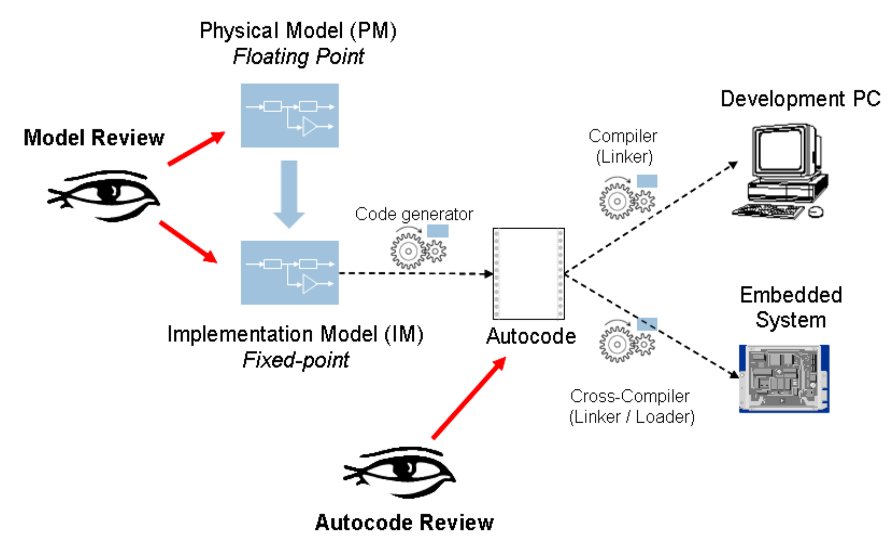


Abbildung 7: Modellbasierte Codegenerierung

Aufgabengemäß lag ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten von AP2 im Bereich der Absicherung von Codegeneratoren (Task 2.2 und 2.3). Als Grundlagenarbeit wurde ein Konzept für eine Codegenerator-Testsuite entwickelt und prototypisch umgesetzt. Als darüber hinaus gehende Arbeit wurden mögliche Ansätze zur Verifikation von Codegeneratoren untersucht. Die entsprechenden grundlegenden Resultate wurden in Deliverables 2.1 und 2.3a beschrieben und veröffentlicht; eine darauf aufbauende Dissertation (I. Stürmer) mit dem Konzept der Codegenerator-Testsuite wurde während des Projektes fertig gestellt und abgeschlossen. Teil dieser Testsuite ist ein Verfahren, dass mit Hilfe von Graph-Entfaltungstechniken Eingabemodelle für einen Codegenerator generiert. Zur Realisierung des Verfahrens wurden modulare Bausteine identifiziert, die durch den Codegenerator-Hersteller, den Anwender des Codegenerators oder durch den Modellgenerator selbst erzeugt werden können. Als erstes Beispiel für solch einen Baustein wurden Transformationsregeln zur Überführung eines Stateflow-Charts in den Zwischencode des Codegenerators TargetLink aufbereitet. Die prototypische Umsetzung mündete in einen Modellgenerator zur automatisierten Erzeugung von Testmodellen für Codegeneratoren. Es wurde ein Satz von Modellen und Eingabedaten für die Testsuite erstellt, die Module für Codegeneratortestsuite wurden mit dem Werkzeug MTest (DaimlerChrysler / dSPACE / ITPower) gekoppelt. Mit der Codegenerator-Validierungssuite konnten Teile des TargetLink Model Compilers exemplarisch validiert werden. Die Ergebnisse wurden in mehreren Publikationen veröffentlicht und in den aus dem IMMOS-Projekt heraus initiierten und von anderen Herstellern mitgetragenen Arbeitskreis 'Autocode-Validierungs-Suite in der deutschen Automobilindustrie' eingebracht; die Konzepte zur Toolabsicherung wurden in den zukünftigen automobilen Sicherheitsstandard IS0/WD 26262-8 eingebracht. Die weitere Verwertung der Projektergebnisse liegt in den Händen der Spin-Off-Unternehmens Model Engineering Solutions, Berlin.

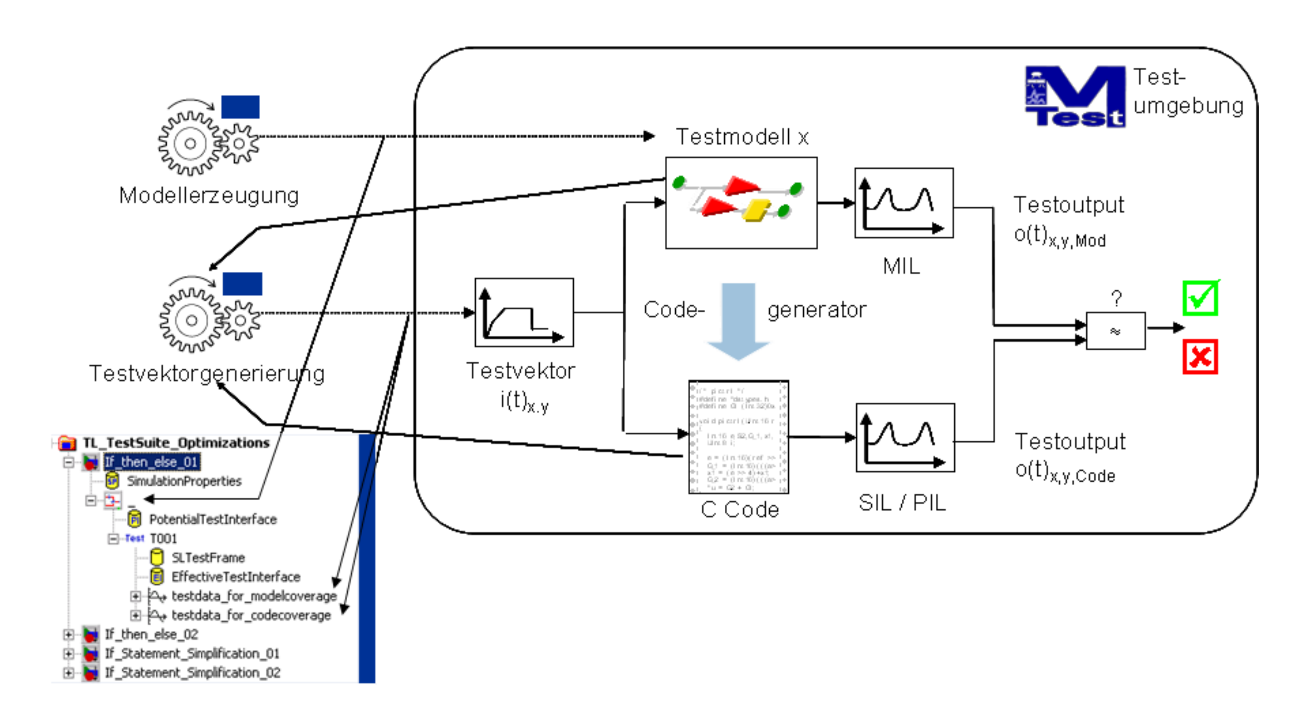


Abbildung 8: Generische Testsuite für Codegeneratoren

AP 3. Modellbasierter Test

Wie bereits in der Aufgabenstellung konstatiert wird, ist der methodische Test zweifelsohne das wichtigste qualitätssichernde Element im Steuergeräteentwicklungsprozess. Die modellbasierte Entwicklung ermöglicht und erfordert hier zugleich neue Herangehensweisen an den Test. Der mit der modellbasierten Entwicklung eng verzahnte Testprozess, der eine Kombination unterschiedlicher, sich gut ergänzender Testmethoden umfasst, wird dabei als modellbasierter Test bezeichnet. Aufbauend auf den APs 1 und 2 sollte in diesem AP ein modellbasierter Testprozess etabliert werden, der direkt mit der modellbasierten Softwareerstellung synchronisiert ist. Dieser Testprozess sollte in der Lage sein, auch Mischsysteme aus teils manuell und teils modellbasiert entwickelten Funktionen hinreichend abdecken zu können. Dieser Testprozess sollte auf Grundlage des im AP 4 entwickelten Informationsmodells methodisch fundiert werden. Für den Test werden Testszenarien benötigt, die das jeweilige Testobjekt stimulieren. Testszenarien bilden dabei typische Eingangsdaten im Betrieb nach. Sie sollten in diesem AP synthetisch erzeugt oder durch Messungen gewonnen werden. Die zu erfassenden Systemreaktionen sollten dann im Vergleich mit den erwarteten Antworten Aufschluss über das korrekte Verhalten des Testobjektes geben. Trotz oder gerade wegen der hohen Bedeutung des Testens sind in der Vergangenheit sehr unterschiedliche Formen der Beschreibungen von Testfällen entwickelt worden. Diese reichen von skriptbasierten Ansätzen über tabellarische hin zu graphischen Formaten. Kurzfristig war hier – begründet auch durch hohe Investitionen in bestehende Lösungen und die Ausbildung von Testingenieuren – nicht mit einer Vereinheitlichung zu rechnen. Angesichts der weiterhin zunehmenden Bedeutung von Tests sollte jedoch durch IMMOS die Möglichkeit einer Annäherung von unterschiedlichen Beschreibungsverfahren erreicht werden. Ein weiteres Ziel des Arbeitspaketes war es daher, eine im Kontext des modellbasierten Funktionstests vollständige Grundlage an elementaren und essentiellen Beschreibungsmitteln für Testverfahren zu identifizieren. Auf dieser Grundlage sollten unterschiedliche Formate syntaktisch und semantisch ineinander überführt werden. Als unmittelbarer Gewinn sollte sich daraus die Möglichkeit ergeben, einem Testingenieur die Formulierung von Testfällen in seiner Umgebung zu gestatten und somit abteilungs- und firmenübergreifend eine bessere Absicherung und Effizienzsteigerung für den Umgang mit Testsystemen zu haben.

Aufgabenstellungen von AP3

- Erarbeitung einer Vorgehensweise und Methodik für den modellbasierten Test
- Bestandsaufnahme und Bewertung relevanter Beschreibungsverfahren für Testfälle
- Analyse einer notwendigen operationalen Grundlage
- Exemplarische Überführung von verschiedenen Formaten anhand der erarbeiteten Grundlagen

Ergebnisse von AP3

In diesem AP wurde zunächst der Stand der Technik für den modellbasierten Test erarbeitet: es wurden existierende Beschreibungsverfahren für Testfälle miteinander verglichen, die

Möglichkeiten zur automatischen Testfallerzeugung der einzelnen Verfahren untersucht und im Rahmen mehrerer Veröffentlichungen publiziert. Insbesondere bei den zur Verfügung stehenden Testtools herrscht eine große Vielfalt, die einzelnen Tools lassen sich auch nicht direkt miteinander integrieren. Daher wurden im Rahmen mehrerer Projekttreffen und einer ständigen Kooperation zwischen den Berliner Partnern neue Ideen zum modellbasierten Test gesammelt, die Umsetzung in bestehende Tools diskutiert und im Rahmen des IMMOS Projekttreffens mit den übrigen Partnern abgeglichen. Zum Vergleich der verschiedenen Verfahren wurde die Bestandsaufnahme und Bewertung von relevanten Beschreibungsverfahren für Testfälle um ein durchgängiges Beispiel ergänzt, das die einzelnen Beschreibungsverfahren kohärent illustriert. Als Erweiterung der Arbeiten zur Darstellung von Testbeschreibungsverfahren für das durchgängige Beispiel wurden auch Verifikationstechniken für Testsequenzen und die Verknüpfung von Anforderungen und Tests untersucht. Dadurch entstand eine sehr übersichtliche Dokumentation (D1.1), die wissenschaftlich großen Anklang fand. Weitere grundlagenorientierte Arbeiten betrafen die Formulierung erster Ansätze für eine temporallogische und grafische Notation zur Beschreibung der Signalverläufe mit dem Ziel der automatischen Überprüfung von temporalen Signalabhängigkeiten und -merkmalen bei der Testauswertung, die Erweiterung der Klassifikationsbaum-Methode für eingebettete Systeme um Darstellungsmöglichkeiten für Events, sowie Arbeiten zur Codegenerierung aus Klassifikationsbäumen. Das kumulative Ergebnis des Deliverables dieses Teils von AP3 umfasst Publikationen zu automatischen Strukturtests und der automatischen Testauswertung im modellbasierten Test, zur Erweiterung der Klassifikationsbaum-Methode für eingebettete Systeme, zur Vorgehensweise bei der Erstellung von Testmodellen für die automatische Testauswertung, sowie die Dokumentation der Anforderungen an eine durchgängige Testentwicklung für den modellbasierten Test und Spezifikation der Integration von Testwerkzeugen und Testsprachen. Die verschiedenen Teilaspekte einer Testmethodik für den modellbasierten Test (Methodikbausteine wie z.B. automatische Testauswertung und automatische Testvektorgenerierung) wurden in einer Vielzahl von Publikationen dargestellt. Zur Erarbeitung einer integrierten Methodik für den modellbasierten Test wurden weiterhin verschiedene Teilaspekte in Methodikbausteinen zusammengefasst und in einer Reihe von Veröffentlichungen beschrieben. Es wurde eine Methode zur toolunterstützten Definition und

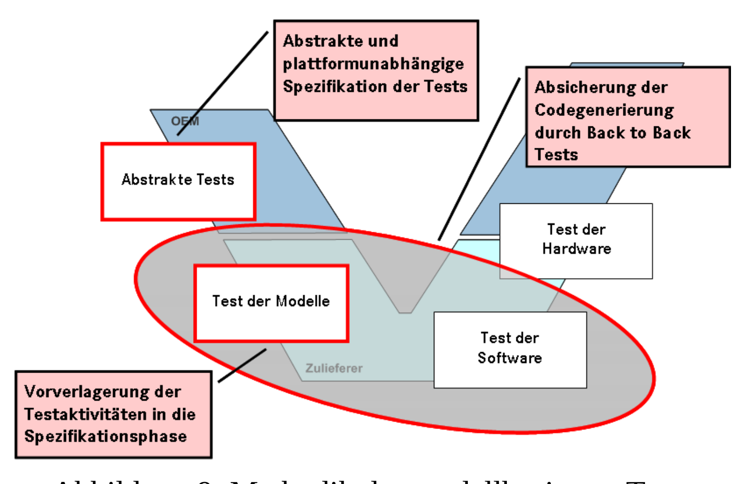


Abbildung 9: Methodik des modellbasierten Tests

Erstellung von Verknüpfungen zwischen Anforderungen und Tests erarbeitet, die in Deliverable (D3.2) zusammengefasst wurde. Das Informationsmodell für den Bereich modellbasierter Test wurde mit AP1/AP4 abgestimmt. Weiterhin wurden Grundlagenarbeiten zur Codegenerierung aus Klassifikationsbäumen, zur Verifikation von Testsequenzen und zu modellbasierten Überdeckungskriteriendurchgeführt und in einer Vielzahl von Publikationen veröffentlicht. Darüber hinaus wurde eine Konzeption und prototypische Implementierung der Integration von Testauswertungstools in eine modellbasierte Testumgebung begonnen. Als operationale Grundlage für die durchgängige modellbasierte Testmethodik wurde das interne Objektmodell aus dem Werkzeug AutomationDesk aufbereitet. Auf der Grundlage dieses Objektmodells wurde ein vorläufiges Konzept einer XML-Testaustauschnotation („TestML") erarbeitet. Nachdem in mehreren Treffen innerhalb des APs und mit den anderen Teilnehmern ein kohärenter Vorschlag für TestML exemplarisch erprobt und gegenseitig

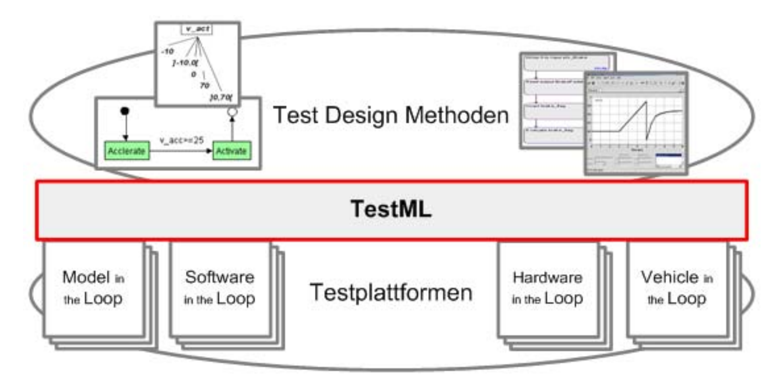


Abbildung 10: Testaustauschformat TestML

abgestimmt war (D3.3 Spezifikation der operationalen Grundlage), wurde damit begonnen, entsprechende APIs zu Testwerkzeugen (insbesondere zu AutomationDesk) zu erstellen und eine Testumgebung zum Test von automatisch generierten Simulink / TargetLink Modellen per MiL (Model-in-the-Loop), SiL (Software-in-the-Loop) und PiL (Processor-in-the-Loop) aufzusetzen (D3.4 Formale Spezifikation der Überführung zwischen verschiedenen Formaten). Es wurde ein EMF basiertes Metamodell von TestML erarbeitet und publiziert.

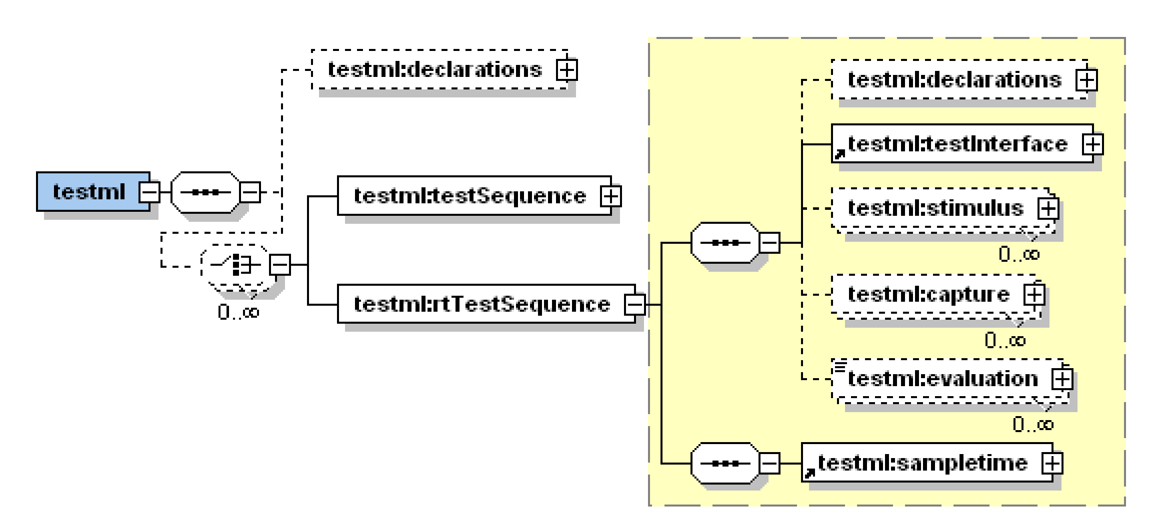


Abbildung 11: TestML Spezifikation

```
executeStep(currentStep(a)) ≡
if type(currentStep(a)) = statement then
  executeStatement(currentStep(a))
elseif type(currentStep(a)) = realTimeATN then
   extend ATN with a
      type(a) := realTime,
      phase(a) := running
   endextend
elseif type(currentStep(a)) = nonRealTimeATN then
   extend ATN with a
      type(a) := nonRealTime,
      phase(a) := running
   endextend
endif
```

Abbildung 12: TestML Beispiel

Weiterhin wurden für TestML verschiedene Dokumentationen und Benutzerdokumente erstellt und über die IMMOS-Webseite publiziert. Zur Dissemination der Ergebnisse wurden Beispieldokumente sowie die Schema-Datei über die IMMOS-Webseite frei verfügbar gemacht; und es wurden etliche Anfragen interessierter Anwender beantwortet. Die weitere Verwertung der TestML findet hauptsächlich durch dSPACE statt.

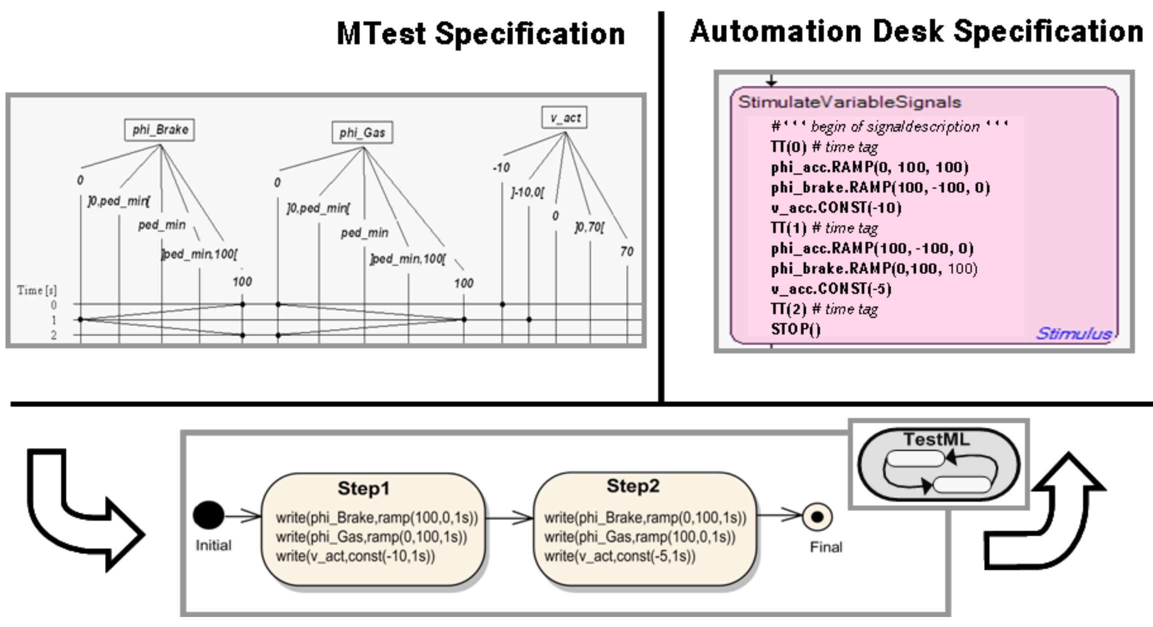


Abbildung 13: Austausch MTest und AutomationDesk

Der weitere Schwerpunkt der Arbeiten in diesem Arbeitspaket lag in der Implementierung und Kopplung von Werkzeugen, insbesondere im Kontext der im Rahmen von IMMOS erarbeiteten Beschreibungssprache TestML. Es wurde ein Teil des TestML-Imports/Exports in den Werkzeugen MTest und AutomationDesk realisiert, das automatische Testauswertungstools MEval optimiert und verbessert sowie Design-Unterlagen zur Re-Implementierung von MEval in Java erstellt. Weitere Implementierungsarbeiten betrafen die Erstellung von Testfäl-

len aus UML Use Cases als Werkzeug Plug-in für Eclipse („Use Case Validator“), die Optimierung der Signal-Vorverarbeitungsalgorithmen des automatischen Testauswertungstools MEval, die automatische Überprüfung von temporalen Signalabhängigkeiten und -merkmalen bei der Testauswertung sowie die werkzeugunterstützte Definition und Erstellung von Verknüpfungen zwischen Anforderungen und Tests. Im Rahmen des Arbeitspaketes wurden die Tools zur Unterstützung der Erstellung von Verknüpfungen zwischen Anforderungen und Tests optimiert (Generierung von Testcode und Überdeckungsmetriken aus Klassifikationsbäumen), ein neuer Algorithmus für den automatischen Signalvergleich von Signalen in MEval implementiert, und die Arbeiten am „Use Case Validator“ UCV zur Erstellung von Testfällen aus UML Use Cases in einen konsistenten Stand gebracht. Ferner wurde für AP5 (Demonstrator) eine Toolkette, bestehend aus MATLAB/Simulink, TargetLink, Reactis, MTest und MEval, zum automatischen Back-to-Back-Test aufgebaut. Die Verwertung dieser Arbeiten wird vornehmlich von ITPower als Know-How-Träger der modellbasierten Testkopplung vorgenommen.

AP 4. Integrierte Methodik

Die Arbeitspakete 1-3 konzentrieren sich auf die Konzeption von spezialisierten Methoden zur Anforderungsanalyse und zur Qualitätssicherung in der modellbasierten Systementwicklung. Die strukturierte Integration dieser Einzelmethoden muss das Zusammenwirken der Einzelmethoden definieren. Dazu sollten in diesem Arbeitspaket die jeweiligen Informationen, die im Rahmen der Anforderungsermittlung, der Modellierung und im Test erhoben werden, beschrieben und zueinander in Bezug gesetzt werden. Die Bezugnahme sollte es ermöglichen, eine integrierte Methodik für die modellbasierte Entwicklung verteilter Steuerungs- und Regelungssysteme im Kraftfahrzeug zu erarbeiten. Als Grundlage hierfür sollte ein Informationsmodell für die modellbasierte Entwicklung exemplarisch erstellt werden, welches alle wesentlichen in der modellbasierten Entwicklung auftretenden Informationseinheiten und deren Zusammenhänge in abstrakter Form beschreibt. Im Rahmen des vorliegenden Arbeitspaketes sollte ein allgemeines Verfahren zur Aufstellung von Informationsmodellen erarbeitet werden, mit denen eine domänenspezifische Beschreibung der eingesetzten Methoden und deren Informationsgehalt erfolgen kann. Hierdurch sollte eine strukturierte Identifikation der Zusammenhänge zwischen Anforderungen, Modellen und Tests zum Aufbau einer integrierten Methodik möglich werden.

Aufgabenstellungen von AP4

- Analyse marktgängiger Beschreibungsverfahren
- Erarbeitung eines Verfahrens zur Aufstellung von Informationsmodellen zur Methodikbeschreibung
- Beschreibung der Informationsgehalte der jeweiligen Entwicklungsdomänen
- Strukturierte Identifikation der Zusammenhänge zwischen Anforderungen, Modellen und Tests und Aufbau einer integrierten Methodik
- Durchführung von Fallstudien unter Anwendung der integrierten Methodik
- Bewertung der integrierten Methodik

Ergebnisse von AP4

In AP4 wurde zunächst eine vergleichende Analyse von verschiedenen Modellierungsformalismen und marktgängigen Beschreibungsverfahren für Entwicklungsmethoden vorgenommen. Insbesondere wurde der Zusammenhang zwischen UML-basierten und anderen etablierten Sprachen (automatenbasiert, Matlab/Simulink, etc.) auf der Metamodellebene diskutiert.

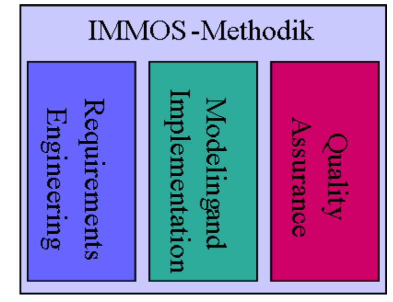


Abbildung 14: IMMOS-Methodik

Des Weiteren wurde damit begonnen, das Objektmodell aus dem Testwerkzeug Automation-Desk für die Analyse aufzubereiten. Dazu wurde eine Einigung über grundlegende Datenformate erzielt sowie Ideen für eine integrierte Methodik gesammelt. In mehreren Arbeitstreffen des AP4 wurden Begriffsklärungen und Abgrenzung zu anderen Arbeiten vorgenommen, Werkzeuge und Informationsmodell diskutiert sowie eine Auswahl der einzusetzenden Beschreibungsmittel getroffen. Darauf aufbauend wurde ein Glossar zur Unterstützung einer einheitlichen Begriffsbildung erarbeitet und per Web-Portal projektweit verfügbar gemacht. Das Glossar dient zur Vorbereitung und Bereitstellung eines initialen Informationsmodells der modellbasierten Entwicklung. Im Projektbericht D4.1 (Überblick über marktgängige Beschreibungsverfahren) wurde ein Kriterienkatalog zur Bewertung von Beschreibungsverfahren und Präsentationsformen für Entwicklungsmethoden und -prozesse erarbeitet. In dem Bericht wird eine detaillierte Beschreibung der Verfahren sowie möglicher Präsentationsformen für die gewählten marktgängigen Vertreter gegeben und für jede Anwendungsdomäne exemplarisch dargestellt. Bei der Erstellung von Informationsmodellen zur Methodikbeschreibung wurde zwischen dem Konzept zur Beschreibung von Informationsmodellen und dem Konzept zur Beschreibung von Entwicklungsmethoden unterschieden. Als Beschreibungssprache für Entwicklungsprozesse wurde das „Software Engineering Process Metamodel“ ausgewählt und eine konkrete Entwicklungsmethode exemplarisch in Rational Rose beschrieben. Im weiteren Projektverlauf wurde Deliverable D4.1 an einen aktualisierten Kriterienkatalog angepasst und publiziert.

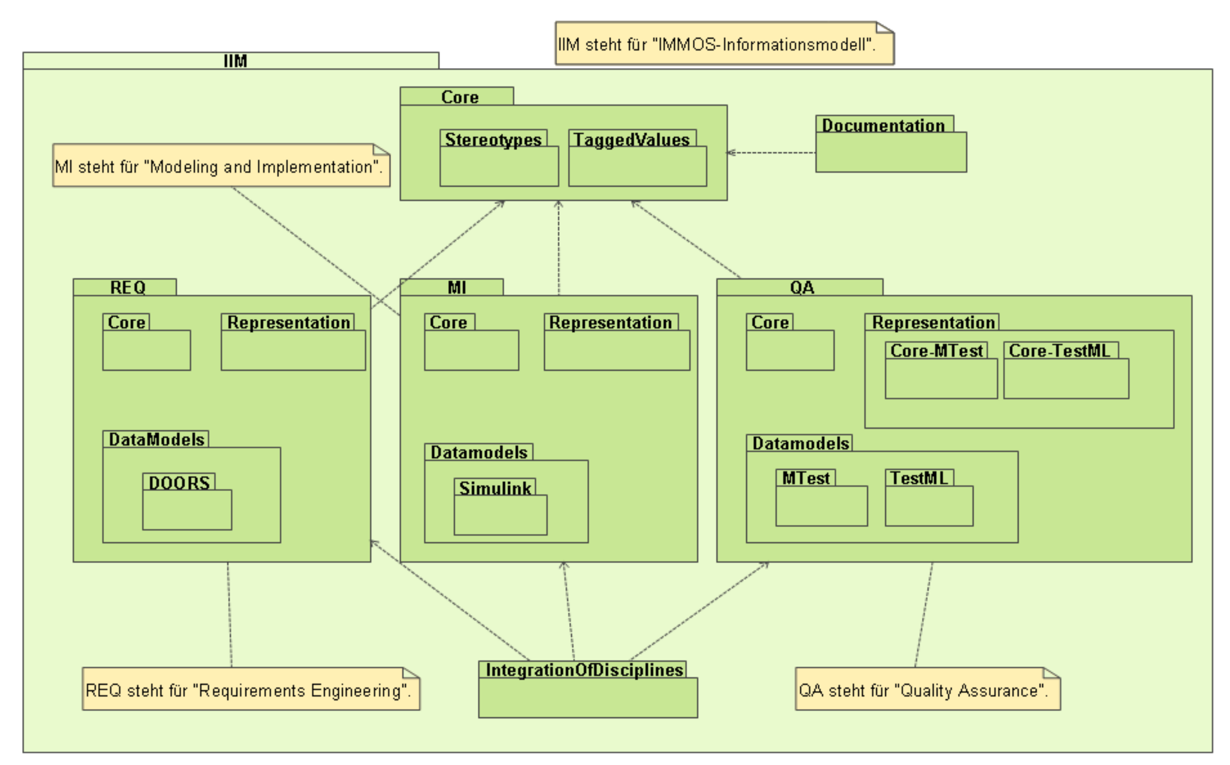


Abbildung 15: IMMOS-Informationsmodell

Der Schwerpunkt der weiteren Arbeiten lag in der Entwicklung des Methodenbeschreibungskonzeptes sowie der Beschreibung weiterer Entwicklungsmethoden auf der Basis dieses Konzeptes. Es stellte sich heraus, dass die Arbeiten von AP1 und AP4 in diesem Punkt starke

Zusammenhänge aufwiesen; daher wurden diese Arbeiten in der zweiten Projekthälfte eng koordiniert. Für Task 4.2 wurde die Aufgabenstellung zwischen DaimlerChrysler (Methodenbeschreibungen, dynamische Inhalte) und FZI (Informationsmodell, statische Inhalte) aufgeteilt. Im Teil „Verfahrens zur Aufstellung von Informationsmodellen“ wurden Aufbau und Bestandteile von Entwicklungsmethoden analysiert und eine Entwicklungsmethode als Beispiel für die Implementierung des Verfahrens beschrieben. Im Teil „Verfahren zur Beschreibung von Methoden zur modellbasierten Entwicklung von Steuergerätesoftware“ wurde eine Agenda als Anleitung zur Methodenbeschreibung erstellt. D4.2 liegt demzufolge in zwei Teilen vor, einer für die statischen (D4.2.1) und einer für die dynamischen Inhalte (D4.2.2). Entsprechend dieser Zweiteilung wurde auch Task 4.3 zerlegt in eine Beschreibung der Metaklassen und eine Beschreibung der Methoden. Weiterhin wurden die Inhalte des APs mit den AP1 und AP4 koordiniert und es wurden die Zusammenhänge zwischen Anforderungen, Modellen und Tests beschrieben. Als erste Anwendung der in diesem AP entwickelten integrierten Methodik wurde die Spezifikation des Demonstrators in AP5 verwendet. Die Verwertung der Ergebnisse erfolgt im Wesentlichen durch die Projektpartner FZI und DaimlerChrysler.

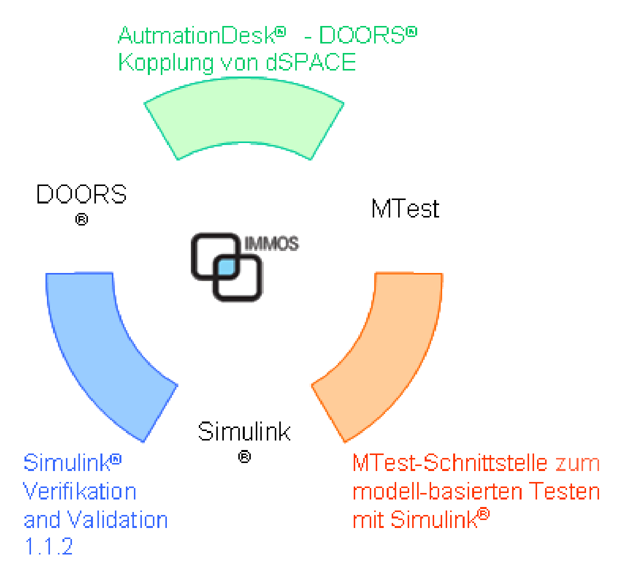


Abbildung 16: IMMOS-Werkzeugkette

AP 5. Demonstrator

Die Projektergebnisse sollten in AP 5 anhand der modellbasierten Entwicklung eines Demonstrators dargestellt werden. Zunächst war dabei an Steer-by-Wire-System gedacht. Es sollte ein Demonstrator aufgebaut werden, der die wesentlichen Komponenten einer elektronischen Steuerung beinhaltet. Dieser Demonstrator sollte aus mechanischen Komponenten (z.B. einer lenkbaren Vorderachse und einem Lenkrad) bestehen, die über die entsprechende Sensorik (z.B. Lenk- und Lenkradwinkelmesser) und Aktuatorik (z.B. Lenkantrieb und Handmomentensteller) mit einer elektronischen Steuerung verbunden sind. Auf dem Steuergerät sollten die generierten und compilierten Modelle ausgeführt werden können. So sollten unterschiedliche Varianten zunächst im Modell erprobt und validiert werden, bevor sie weitgehend automatisch in das Steuergerät geladen und dort tatsächlich erfahren werden.
Zielsetzung des Demonstrators war der Nachweis der Effizienzsteigerung mit gleichzeitiger Qualitätssteigerung. Dazu sollten verschiedene Zusatzfunktionen der elektronischen Lenkung (z.B. parametrisierbare Lenkübersetzung, Überlagerungsfunktionen) entwickelt werden. Die Entwicklungs-Aufwände und -Zeiten sollten ermittelt und mit den Werten der herkömmlichen Entwicklung verglichen werden, um Effizienz- und Qualitätssteigerung quantitativ nachweisen zu können.

Aufgabenstellungen von AP5

- Erhebung der aktuellen Entwicklungsaufwände und Dauern von Änderungszyklen
- Erstellung des Demonstrators
- Evaluation der Entwicklungsmethodik (Aufwände, Änderungszyklen)

Ergebnisse von AP5

Obwohl der Beginn der Arbeiten an diesem AP erst sehr spät im Projektverlauf eingeplant war, wurde schon frühzeitig damit begonnen, verschiedene Möglichkeiten für den Demonstrator zu diskutieren und zu vergleichen. Dabei mussten mehrere Randbedingungen

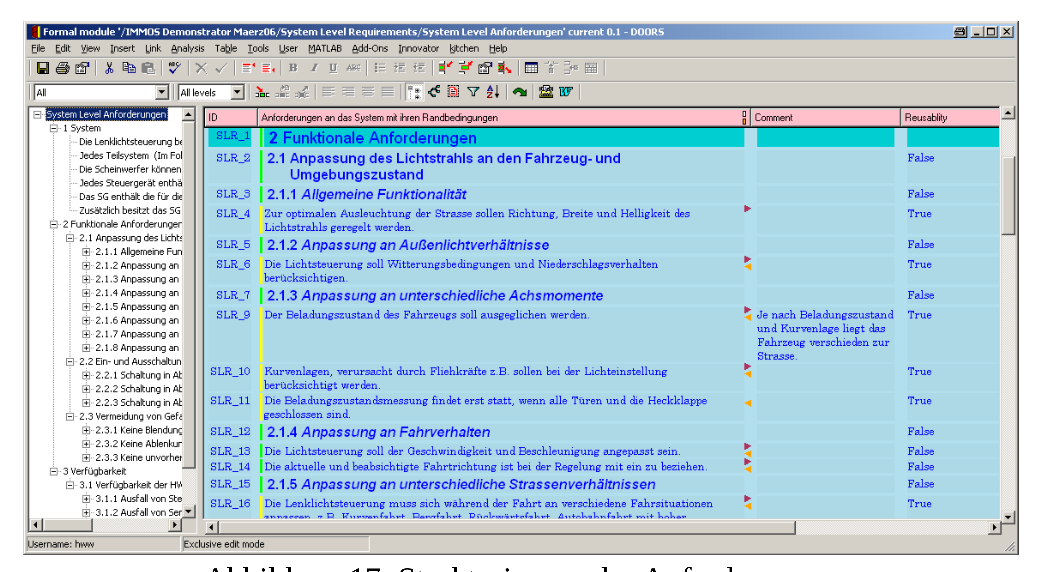


Abbildung 17: Strukturierung der Anforderungen

berücksichtigt werden: finanzieller Rahmen, fachliche Eignung, Verfügbarkeit der Hardware, Lizenzbestimmungen und nicht zuletzt auch unternehmenspolitische Kriterien. Die Vorbereitungen für den Aufbau des Demonstrators wurden in der zweiten Projekthälfte mit der Erstellung eines Konzeptes und Einleitung der Hardware-Beschaffung (Mid-size HiL-Testsystem von dSPACE bei DaimlerChrysler) begonnen. Des Weiteren wurde damit begonnen, relevante Entwicklungsdokumente einer demonstratortauglichen Steuergeräte-Software-Funktion (Anforderungen, Modelle, Tests) bereit zu stellen bzw. aufzubereiten. Für die Demonstration der modellbasierten Qualitätssicherungselemente wurde eine abgeschlossene Menge von Artefakten aus einem Entwicklungsprojekt herauskristallisiert, die eine demonstratortaugliche Steuergeräte-Softwarefunktion realisieren. Durch verschiedene äußere Umstände (Reduktion des Projektvolumens, Firmenpolitik) konnte als Demonstrator weder, wie ursprünglich geplant, eine Steer-by-Wire Anlage, noch, wie als Ersatzlösung geplant, ein Notbremssystem realisiert werden. Daher wurde vom Projekt beschlossen, eine Lenklichtsteuerung zu realisieren: diese bot bei weit geringeren Kosten und firmenpolitischen Problemen dieselben Herausforderungen wie der ursprünglich geplante Demonstrator (Lichtstellmotoren als mechanischen Komponenten, Lenkwinkel und Lagesensoren zur Zustandserfassung, sowie ein speziell entwickelter Steuergeräte-Prototyp). Leider konnten einige der Vorarbeiten für das neue Demonstratorkonzept nicht verwendet werden; der entsprechende Mehraufwand wurde vom beteiligten Projektpartner DaimlerChrysler getragen.

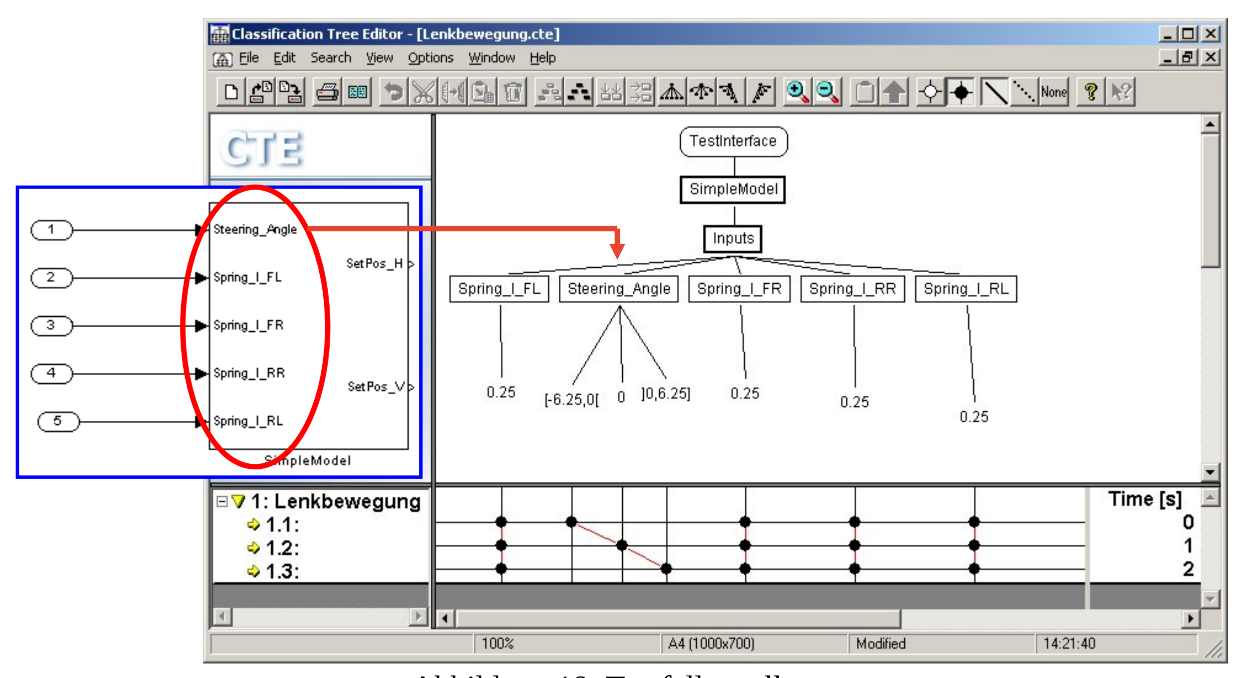


Abbildung 18: Testfallerstellung

Die Inbetriebnahme des dSPACE HiL-Testsystems erwies sich als aufwändiger als ursprünglich vorgesehen; hier war es von unschätzbarem Vorteil, dass der Hersteller selbst Projektpartner war. Auch die Arbeiten am Demonstrator selber waren deutlich komplexer als geplant: es war ein erhöhter Koordinierungsaufwand nötig, da viele Partner an ein und demselben Objekt gleichzeitig arbeiten mussten. Die Hardware stand dabei teils in Berlin (bei DaimlerChrysler), teils in Karlsruhe (beim FZI) und teils in Paderborn (bei dSPACE). Nach der Inbetriebnahme des Kerns des Demonstrators (Sept.-Nov.2005) erfolgte ein Wechsel des

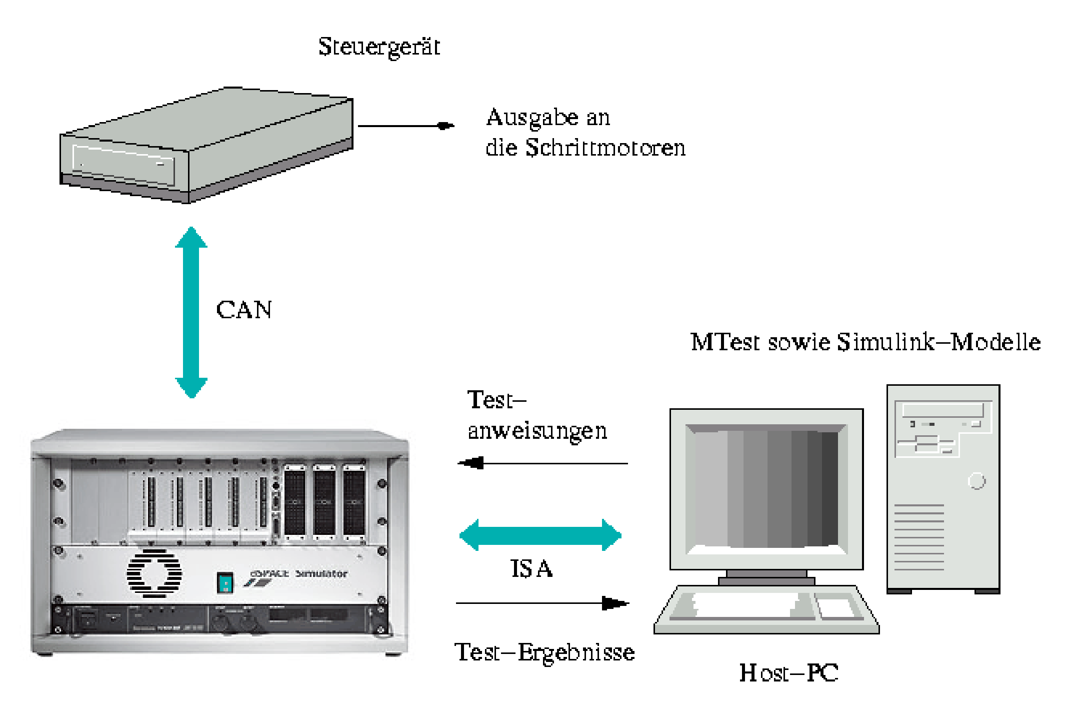


Abbildung 19: logischer Aufbau des Demonstrators

Steuergerätes und der Funktionalität (siehe oben). Für diese geänderte Funktionalität mussten gewisse Änderungen konzipiert werden, die im ersten Quartal 2006 realisiert werden konnten. Insgesamt erwies sich auf Grund der geschilderten Sachverhalte das ursprüngliche Vorhaben, dedizierte Funktionalitäten sowohl auf herkömmliche Weise als auch modellbasiert zu entwickeln, als nicht realisierbar. Daher wurde unter Anwendung der Methodik aus AP4 eine vollständig modellbasierte Implementierung der Funktionalität des Lenklichtes vorgenommen, und der Aufwand mit ähnlichen Projekten aus der industriellen Erfahrung verglichen. Im Einzelnen mussten zur Realisierung des Demonstrators folgende Arbeiten durchgeführt werden: Definition von Anforderungen an eine Lenklichtsteuerung. Konzeption der Umsetzung mit dSPACE HIL System und FZI Steuergerät, Review und Revision der Anforderungen, Umsetzung der Anforderungen in ein Modell, Erstellung von Funktions- und Umgebungsmodell, Transformation des Modells und Generierung des Programmcodes aus dem Funktionsmodell, Fertigstellung des Steuergerätes für den Demonstrator, Anpassung der Hardware-Peripherie (Scheinwerfer), Portierung der Software auf das Zielsystem, modellbasierte Erstellung von Testfällen, Konsistenzprüfung und Anpassung der Testfälle, Integration der Werkzeugumgebung, Inbetriebnahme des HiL-Simulators, Integration von Applikation (Lenklicht) und HiL-Testsystem, sowie automatische Durchführung der Tests und Regressionstests.
Da bei der Koordination und Durchführung dieser Arbeiten etliche Implementierungsschwierigkeiten auftraten, wurde der zeitliche und finanzielle Rahmen im Projekt überschritten (für den Fördergeber kostenneutral). Der gesamte Simulator konnte erst zum Projektende, nämlich im September 2006 (mit drei Monaten Verspätung gegenüber der ursprünglichen Planung), fertig gestellt werden. Trotzdem konnte der Demonstrator auf der Messe „AutoTest 2006“ und weiteren Ausstellungen vorgeführt werden.

AP 6. Dissemination

Die in IMMOS erzielten Resultate sind insbesondere für die Zulieferfirmen der Automobilbranche interessant, die sich mit der Entwicklung elektronischer Steuergeräte im Fahrzeug beschäftigen. Darüber hinaus profitieren alle Industriezweige, die durch die Entwicklung von Embedded-Control-Endgeräten gekennzeichnet sind, wie zum Beispiel Transport, Avionik, Servicerobotik usw. Für die Geräte der Zukunft muss von dieser Zielgruppe immer mehr Software in immer kürzeren Zyklen entwickelt werden. Um eine möglichst große Verbreitung der Projektergebnisse zu erzielen, war daher nicht geplant, IMMOS als separaten Baustein zu vermarkten, sondern die erzielten Resultate so weit wie möglich zu veröffentlichen. Durch die Publikation und Präsentation der beteiligten Forschungseinrichtungen auf Messen und Fachkonferenzen sollte allen beteiligten Anwendern die Möglichkeit gegeben werden, von den Ergebnissen zu profitieren und ihre eigene Systementwicklung zu verbessern.
Der Einsatz des Demonstrators ist ein zentraler Bestandteil der Disseminationsstrategie, denn er ist der sicht- und greifbare Nachweis der Stärke unseres Ansatzes. Die Präsentation des Demonstrators auf verschiedenen Fachkonferenzen und Messen ermöglicht die Kontaktaufnahme zum Zielpublikum mit der Absicht, die zugrundeliegenden Techniken und Methoden zu erläutern. Diese Erstkontakte werden durch die KMU- und Forschungspartner vertieft. Die im Projekt eingesetzten Werkzeuge müssen marktgängig sein und teilweise schon eine recht weite Verbreitung haben, um realistische Chancen auf einen Transfer der Ergebnisse zu haben. Im Einzelnen gehen die Ergebnisse des Projekts in verschiedenen, jeweils angemessenen Weisen in eine wirtschaftliche Nutzung über. Das Verfahren zur Absicherung von Codegeneratoren in sicherheitsrelevanten Anwendungen wird publiziert und ist so frei nutzbar. Die enge Kooperation mit einem Hersteller im AP 2 stellt eine direkte wirtschaftliche Relevanz sicher. Die erfolgreiche Umsetzung des Konzepts und der Aufbau der Testsuite sind essentielle Voraussetzungen für den weiteren Durchbruch der direkten Generierung des Codes. Somit wird die Position deutscher Hersteller gegenüber amerikanischen und französischen Wettbewerbern gestärkt und der nachhaltige Einsatz ermöglicht.
Die Arbeiten zum modellbasierten Test erweitern die Stärke der modellbasierten Entwicklung durch die enge Einbindung von Qualitätssicherungstechniken. Die Partner dSPACE und ITPower werden Ergebnisse des AP 3 zur Produktreife weiterentwickeln und vermarkten. DaimlerChrysler ist ein Pilotanwender, der die Angemessenheit der Techniken evaluiert. Die integrierte Methodik zur modellbasierten Entwicklung wird in einer Reihe von Einzeldarstellungen publiziert und auf Fachkonferenzen präsentiert und so einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht. Die Forschungspartner FhG und FZI sind weiterhin in der Lage, die Methodik im Rahmen von nachfolgenden Kooperationen an weitere interessierte Endanwender zu vermitteln.

Aufgabenstellungen von AP6

- Präsentation des Demonstrators
- Präsentation und der Entwicklungsmethodik und –techniken

Ergebnisse von AP6

Das Projekt IMMOS zeichnet sich durch eine extrem hohe nationale und internationale Sichtbarkeit aus. Auf Grund der Aktualität und hohen Qualität der Ergebnisse wurden Berichte und Einreichungen über Ergebnisse des Projektes überdurchschnittlich oft auf Konferenzen und Workshops akzeptiert. Die Gesamtzahl der referierten Veröffentlichungen beläuft sich auf nahezu 100 Publikationen. Darunter befinden sich mehrere Bücher, Tagungsbände sowie bislang zwei abgeschlossene Promotionen, von denen eine mit dem Hermann-Appel-Preis 2005 der Ingenieurgesellschaft für Auto- und Verkehr (IAV) im Bereich Automobilelektronik ausgezeichnet wurde. Zwei weitere Dissertation (M. Friske, A. Krupp) sind in Arbeit und werden im Jahr 2007 fertig gestellt.

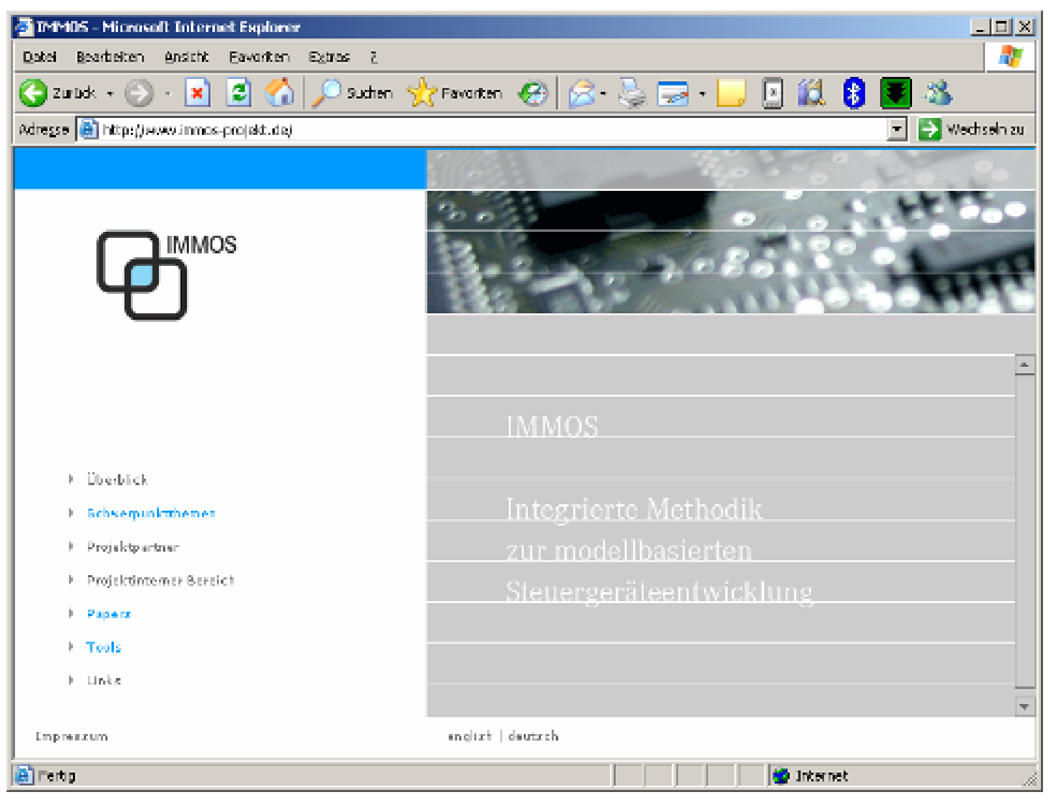


Abbildung 20: IMMOS- Webseite

Die Projektergebnisse wurden im Rahmen etlicher Konferenzen, Industrieworkshops, internationaler Sommerschulen und Vorlesungen (Universität Paderborn, Humboldt-Universität) disseminiert. Beispiele sind die Ausrichtung der Jahrestagung 2005 der ASIM-Fachgruppe 'Simulation technischer Systeme' (ASIM-STS'05) in Berlin durch die Projektpartnern DaimlerChrysler und FIRST, die Mitausrichtung des Workshops 'Model-based Development and Testing' (MbX'05), Orlando, die Ausrichtung und Organisation der Konferenz „Methods for Modalities 4“ bei FIRST im Oktober 2006, die Ausrichtung eines „Special Tracks“ auf der IEEE Tagung „ISoLA 2006“, und die Ausrichtung von industriellen Weiterbildungsveranstaltungen auf industriellen Seminaren und Foren, z.B. Softwareforum Berlin-Brandenburg, IIR Deutschland GmbH, im Feldafinger Kreis, und bei der EDAG GmbH (Beratung zur modellbasierten Entwicklung).

Die technischen Projektergebnisse, insbesondere der Demonstrator, wurden auf etlichen industriellen Fachtreffen präsentiert: auf der „AutoTest 2006“ (Okt. 2006), auf der „International Automotive Conference (IAC 06), Stuttgart, Mai 2006“ und der „26. Tagung Elektronik im Kraftfahrzeug. Systeme von Morgen - Technische Innovationen und Entwicklungstrends", Dresden, Juni 2006 mit Messeständen zur Methodik, sowie auf Hausmessen und Besucherveranstaltungen. Bei allen Projektpartnern laufen inzwischen Folgeprojekte, in denen die entwickelte Technologie weiter verwendet wird.

Zur weiteren Verbreitung der Ergebnisse wurde vom Projekt aus in verschiedenen Gremien und Verbänden mitgearbeitet, z.B. am Normungsentwurf für die vom VDA adaptierte DIN/EN61508 über sicherheitsrelevante Aspekte der modellbasierten Entwicklung im Rahmen des FAKRA AK 16 „Funktionssicherheit“ / Unterarbeitskreis Software, die Initiierung des Arbeitskreises „Autocodevalidierungssuite der deutschen Automobilindustrie“, der GI-Fachgruppe „Automotive Software Engineering“, im Rahmen des FAKRA AK 16 „Funktionssicherheit“ / Unterarbeitskreis Software, im Normungsentwurf der ISO/WD 26262 Band 6 und 8 etc.



Abbildung 21: Aufbau der Demonstrator-Hardware

Ein Merkmal für den Erfolg des Projektes ist, dass viele der ursprünglichen IMMOS-Mitarbeiter sich im Laufe des Projektes beruflich verbessert haben. Aus dem Projekt IMMOS heraus sind zwei erfolgreiche Spin-Off-Unternehmen gegründet worden, deren Geschäftsführung ehemalige Projektmitarbeiter übernommen haben:

- aquintos GmbH, 76133 Karlsruhe. Handelsregister: Mannheim HRB 111145, www.aquintos.com, Geschäftsführer: Dr. Markus Kühl, Werkzeug PREEvision zum modellbasierten Anforderungsmanagement
- Model Engineering Solutions, Friedrichstr. 50 D-10117 Berlin, UID: DE 219488180, www.model-engineers.com, Geschäftsführer Dr. Ingo Stürmer, Werkzeug e-Guidelines zum Review von automatisch aus Modellen generiertem Code
-





Abbildung 22: aus IMMOS ausgegründete Firmen

In diesen Firmen wurden mittlerweile bereits über 25 hochwertige Arbeitsplätze neu geschaffen. Über die beiden erfolgreichen Ausgründungen hinaus erfolgt die Verwertung der Projektergebnisse über die geplanten Kanäle. Für die Forschungspartner (FIRST, Univ. Paderborn, FZI) werden die Projektergebnisse (insbesondere Aufzeichnungen über den Demonstrator) zur Verbreitung der Ergebnisse und Akquisition neuer Forschungspartner genutzt. Für die Projektteilnehmer im Werkzeugbereich (dSPACE und ITPower) stellen die Ergebnisse eine nachhaltige Verbesserung ihres Angebotes dar, hier konnten bereits mehrere Arbeitsplätze auf Grund der Projektergebnisse neu geschaffen werden. Bei den Anwendern (DaimlerChrysler) werden die erarbeiteten Ergebnisse in den normalen Prozess integriert und mit anderen Firmen harmonisiert, dadurch ergibt sich eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit.

Die Projektpartner sind sich darüber einig, dass in IMMOS keine Patente und Patentverwertungen geplant waren. Die erstellte Methodik soll stattdessen frei zugänglich sein, um eine möglichst nachhaltige Wirkung zu entfalten. Daher erfolgt die Verwertung über die oben genannten Wege.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Projekt IMMOS waren die wesentlichen Kosten die Personalkosten. Diese sind in den Arbeitsergebnissen fachlich schon untersetzt dargestellt; rechnerisch sind die Kosten von den Personalstellen der Projektpartner abgerechnet.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der Verlauf der Arbeit im Projekt folgte der im Projektantrag formulierten Planung. Alle im Arbeitsplan formulierten Aufgaben wurden erfolgreich bearbeitet, es waren keine zusätzlichen Ressourcen für das Projekt nötig.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes

Die Verwertung der Ergebnisse bei den einzelnen Projektpartnern ist detailliert in den einzelnen Erfolgskontrollberichten beschrieben. Hervorzuheben sind hier insbesondere

- Die im Zusammenhang mit AP1 entwickelten Methoden zur Verwaltung von Anforderungen sind in das Hauptprodukt der neu gegründeten Firma aquintos GmbH, Karlsruhe, zur Verwertung eingebracht worden. Dieses KMU wächst und floriert und hat jetzt schon über 20 Mitarbeiter. Die Kopplung vom Testwerkzeug AutomationDesk mit dem marktgängigen Anforderungsmanagementsystem DOORS wurde vom Projektpartner dSPACE ausgebaut und verwertet.
- Im Zusammenhang mit AP2 wurden ein Satz von Richtlinien zur modellbasierten Codegenerierung und ein Werkzeug zur elektronischen Verwaltung dieser Richtlinien geschaffen, welches von der neu gegründeten Firma „Model Engineering Solutions“ verwertet wird. In dieser Firma sind innerhalb eines Jahres bereits 5 Arbeitsplätze neu entstanden.
- Die Arbeiten zur Validierung von Codegeneratoren führten zu einem industriellen Arbeitskreis von Automobilherstellern, dessen Ergebnisse in laufende Standardisierungsbemühungen (ISO 26262) eingebracht werden. Dadurch ist ein nachhaltiger Einfluss der IMMOS-Arbeiten gewährleistet.
- Die Arbeiten in AP3 führten zur signifikanten Verbesserung und Integration von Werkzeugen zum modellbasierten Test. Diese werden vom Projektpartner ITPower verwertet, bei dem auf Grund des Projektes 3 neue permanente Arbeitsplätze entstanden sind.
- Der in AP5 entwickelte Demonstrator wurde auf Messen und Ausstellungen vorgeführt. Auf Grund der dabei geführten Gespräche sind bei FIRST etliche neue Industriekontakte entstanden; die in IMMOS entwickelte Methodik wird im Rahmen von F&E-Aufträgen bei diesen Firmen eingeführt.

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Laufe des Projektes hat sich die modellbasierte Vorgehensweise auch bei anderen Herstellern und Zulieferern der Automobilindustrie weiter etabliert; namentlich sind hier zu nennen:

BMW, Audi, VW, Bosch, Hella, Webasto, EDAG.

Die IMMOS-Projektergebnisse wurden von diesen Firmen aufgegriffen und weiter verwendet. Es sind jedoch keine Fälle bekannt geworden, wo vergleichbare Arbeiten parallel zu den im Projekt durchgeführten Aufgaben mit vergleichbaren Resultaten bei anderen Stellen durchgeführt wurden.

6. Veröffentlichungen des Ergebnisses

Im IMMOS-Projekt entstandene Veröffentlichungen
(nur begutachtete Literatur, ohne Deliverables)

[BCDF 05] K. Buhr, M. Conrad, H. Dörr, I Fey: TOWARDS AN INTEGRATED METHODOLOGY FOR THE MODEL-BASED DEVELOPMENT OF EMBEDDED AUTOMOTIVE CONTROL SOFTWARE. 15. Annual Int. Symp. of the Int. Council on Systems Engineering (INCOSE'05), Rochester, NY, US, July 2005

[BKS 04] P. Baldan, B. König, I. Stürmer: GENERATING TEST CASES FOR CODE GENERATORS BY UNFOLDING GRAPH TRANSFORMATION SYSTEMS. Proc. 2. Int. Conf. on Graph Transformation, Lecture Notes in Computer Science No. 3256, pp.194-209, 2004

[Bol 06] Bol, Alexander. Testdatengenerierung und Bewertung aus der erweiterten Klassifikationsbaummethode. Studienarbeit, Universität Paderborn, August 2006.

[Buh 05] K. Buhr: METHOD-BASED DEVELOPMENT SUPPORT IN PROCESS-ORIENTED ENVIRONMENTS. Proc. Workshop on Model-based Development and Testing (MbX'05), Orlando (US), Jul. 2005

[CD 06] M. Conrad, H. Dörr: Deployment of Model-based Software Development in Safety-related Applications: Challenges and Solutions Scenarios. Proc. Modellierung 2006,Innsbruck, Mar. 2006.

[CD 06] M. Conrad, H. Dörr: Einsatz von Modell-basierten Entwicklungstechniken in sicherheitsrelevanten Anwendungen: Herausforderungen und Lösungsansätze. Proc. Dagstuhl-Workshop 06022 Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme II (MBEES'06), p.7-17 (Informatik Bericht TUBS-2006-01), Dagstuhl, Germany, Jan. 2006.

[CDFB 05] M. Conrad, H. Dörr, I. Fey, K. Buhr: EINE INTEGRIERTE METHODIK FÜR DIE MODELL-BASIERTE ENTWICKLUNG VON STEUERGE-RÄTE-SOFTWARE. Dagstuhl-Workshop 05022: Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme (MBEES'05), Schloß Dagstuhl (D), 10.-14.1.2005

[CDFP+ 05] M. Conrad, H. Dörr, I. Fey, H. Pohlheim, I. Stürmer: GUIDELINES UND MODELLREVIEWS IN DER MODELL-BASIERTEN ENTWICKLUNG VON STEUERGERÄTE-SOFTWARE. 2. Tagung 'Simulation und Test in der Funktions- und Softwareentwicklung für die Automobilelektronik', Berlin, 14.-15.03.2005

[CF 05] M. Conrad, I. Fey: MODELL-BASIERTER TEST VON SIMULINK/STATEFLOW-MODELLEN. Proc. TAE Kolloqium Testen im System- und Software-Life-Cycle, Esslingen (D), Nov 2005, S.278-298

[CF 05] M. Conrad, I. Fey: Systematic Testing of ECU Software: The Classification-Tree Method for Embedded Systems (CTM/ES). 6. Int. Stuttgarter Symposium Kraftfahrwesen und Verbrenungsmotoren, Stuttgart (DE), 22.-23.3.2005

[CFB 04] M. Conrad, I. Fey, K. Buhr: INTEGRATION OF REQUIREMENTS INTO MODEL-BASED DEVELOPMENT. Proc. Int. Workshop W-7 on Automotive Requirements Engineering (AuRE 2004), pp. 23-31, Nagoya, Japan, Sept. 2004

[CFDS 06] M.Conrad, I. Fey, H. Dörr, I. Stürmer: Using Model and Code Reviews in Model-based Development of ECU Software. SAE World Congress 2006, SAE 2006-01-1240, SAE International, Apr. 2006.

[CFGK 05] M. Conrad • I. Fey • M. Grochtmann • T. Klein: MODELLBASIERTE ENTWICKLUNG EINGEBETTETER FAHRZEUGSOFTWARE BEI DAIMLERCHRYSLER. Informatik Forsch. Entw. Vol. 19 (2005), Sonderheft Modellierung

[CFL 04] M. Conrad, I. Fey, K. Lamberg. SOFTWARE SYSTEMATISCH TESTEN! QUALITÄT SICHERSTELLEN DURCH SYSTEMATISCHES TESTEN. Zeitschrift automotive electronics + systems, September/Oktober 2004, S. 60-62.

[CFP 05] M. Conrad • I. Fey • H. Pohlheim: eGUIDELINES – A TOOL FOR MANAGING MODELING GUIDELINES. Proc. Int. Automotive Conference (IAC'05), Detroit (US), Jun. 2005

[CFS 04] M. Conrad, I. Fey, S. Sadeghipour: SYSTEMATIC MODEL-BASED TESTING OF EMBEDDED AUTOMOTIVE SOFTWARE. Int. Workshop on Model Based Testing (MbT'04), Barcelona (ES), März, 2004

[CFS 04] M. Conrad, I. Fey, S. Sadeghipour: SYSTEMATIC MODEL-BASED TESTING OF EMBEDDED CONTROL SOFTWARE: THE MB3T APPROACH. Proc. ICSE 2004 Workshop W14S on Software Engineering for Automotive Systems (SEAS'04), Edinburgh (UK), May, 2004, S.17-25

[CFS 05] M. Conrad • I. Fey • S. Sadeghipour: SYSTEMATIC MODEL-BASED TESTING OF EMBEDDED AUTOMOTIVE SOFTWARE. Electronic Notes in Theoretical Computer Science Vol.111:13-26, 2005

[CK 06] M. Conrad, A. Krupp: An Extension of the Classification-Tree Method for Embedded Systems for the Description of Events, Proc. of Second Workshop on “Model Based Testing” (MBT2006) , p. 1-9, Vienna, Austria, Mar 2006.

[CLSC 05] N. Callaos • W. Lesso • J.-S. Su • M. Conrad (Eds.): MODEL-BASED DEVELOPMENT AND TESTING (MbX'05). Proc. 9. World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Vol. VII, Orlando (US), Jul. 2005

[CNW 05] M. Conrad • C. Nytsch-Geusen • A. Wohnhaas (Eds.): SIMULATIONS- UND TESTMETHODEN FÜR SOFTWARE IN FAHRZEUGSYSTEMEN. Proc. Jahrestagung 2005 der ASIM-Fachgruppe 'Simulation technischer Systeme' (ASIM-STS'05), Berlin (D), Mar. 2005

[Con 04] M. Conrad: A Systematic Approach to Testing Automotive Control Software. Proc. 30. Int. Congress on Transportation Electronics (Convergence '04), Detroit, MI, USA, Oct. 18-20, 2004, pp. 297-308, SAE Techn. Paper Series 2004-21-0039

[Con 04] M. Conrad: MODELL-BASIERTER TEST EINGEBETTETER SOFTWARE IM AUTOMOBIL - AUSWAHL UND BESCHREIBUNG VON TESTSZENARIEN. Dissertation, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden (D), 2004

[Con 05] M Conrad: SYSTEMATIC TESTING OF EMBEDDED AUTOMOTIVE SOFTWARE - THE CLASSIFICATION-TREE METHOD FOR EMBEDDED SYSTEMS (CTM/ES). In: Ed Brinksma and Wolfgang Grieskamp and Jan Tretmans (Eds.): Perspectives of Model-Based Testing, Dagstuhl Seminar Proceedings 04371, 2005.

[CS 04] M. Conrad, E. Sax: **混合信号**. In: B. Broekman, E. Notenboom: 嵌入式软件测试. Publishing House of Electronics Industry, Beijing (CHI), 2004

[CSW 05] M. Conrad • S. Sadeghipour • H.-W. Wiesbrock: AUTOMATIC EVALUATION OF ECU SOFTWARE TESTS. Proc. SAE World Congress 2005, Detroit (US), Apr. 2005. SAE Paper #2005-01-1659

[CSW 06] M. Conrad, S. Sadeghipour, H.-W. Wiesbrock: AUTOMATIC EVALUATION OF ECU SOFTWARE TESTS. SAE`s 2005 Transactions – "The most outstanding SAE technical papers 2005", Paper No. 2005-01-1659, Detroit (USA), veröffentlicht im März 2006

[Dör 05] H.Dörr: ABHÄNGIGKEITSMANAGEMENT IN DER SYSTEMENTWICKLUNG. Jahrestagung 2005 der ASIM-Fachgruppe 'Simulation technischer Systeme' (ASIM-STS'05), Berlin (D), Mar. 2005

[FE 05] M. Friske, R. Ehrmanntraut: Modeling a responsibility-transfer service for the delegation of tasks in airborne separation procedures and ground automation; In: Aerospace Science and Technology, Volume 9, Issue 6 , September 2005, Pages 533-542

[Fey 05] I. Fey: TESTING CONCEPT FOR MODEL-BASED DEVELOPMENT. Proc. Workshop on Model-based Development and Testing (MbX'05), Orlando (US), Jul. 2005

[FH 06] M. Friske, K. Hilse: Evaluation von Transformationsmaschinen in der modellbasierten Qualitätssicherung; In: Hochberger, C. und Liskowsky, R. (Eds.): Beiträge der 36. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik (Band2), Bd. 94 LNI, Seite 205-209, Okt. 2006

[FM 04] G. Frick, K.D. Müller-Glaser: A DESIGN METHODOLOGY FOR DISTRIBUTED EMBEDDED SYSTEMS IN INDUSTRIAL AUTOMATION. Proc. Embedded world 2004 Conference, Design & Elektronik, Februar 2004, pp. 575-579.

[FP 05] M. Friske, H. Pirk: Werkzeuggestützte interaktive Formalisierung textueller Anwendungsfallbeschreibungen für den Systemtest; In: Armin B. Cremers, Rainer Manthey, Peter Martini, Volker Steinhage (Eds.): INFORMATIK 2005 - Informatik LIVE! Band 2, Beiträge der 35. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Bonn, 19. bis 22. September 2005. LNI 68 GI 2005, ISBN 3-88579-397-0.

[Fri 04] M. Friske: Testfallerzeugung aus Use-Case-Beschreibungen. Vortrag und Positionspapier auf dem 21. Treffen der GI-Fachgruppe TAV am 18.Juni 2004 in Berlin

[FS 05] M. Friske, H. Schlingloff: Von Use Cases zu Test Cases: Eine systematische Vorgehensweise. Dagstuhl-Workshop on Model Based Engineering of Embedded Systems (MBEES 05). Erschienen in T. Klein, B. Rumpe, and B. Schätz, (eds.); TU Braunschweig Report TUBS-SSE 2005-01; VII, 203 S. (Jan. 2005).

[FS 06] M. Friske, H. Schlingloff: Abdeckungskriterien in der modellbasierten Testfallgenerierung: Stand der Technik und Perspektiven; In: MBEES - Model Based Engineering of Embedded Systems II Dagstuhl (Jan. 2006). H. Giese, B. Rumpe, B. Schätz (eds.); TU Braunschweig Report TUBS-SSE 2006-01.

[FSM 04] G. Frick, B. Scherrer, K.D. Müller-Glaser: DESIGNING THE SOFTWARE ARCHITECTURE OF AN EMBEDDED SYSTEMS WITH UML 2.0. UML 2004 Workshop on Software Architecture Description & UML, October 12, 2004, Lisbon, Portugal.

[GCFK+ 06] Grossmann, Jürgen; Conrad, Mirko; Fey, Ines; Krupp, Alexander; Lamberg, Klaus; Wewetzer, Christian: TestML - A Test Exchange Language for Model-based Testing of Embedded Software. In: Automotive Software Workshop , San Diego, Jan 2006

[GM 06] J. Grossmann, W. Müller: A Formal Behavioral Semantics for TestML. Proc. of ISOLA 06, Paphos, Cyprus, Nov 2006.

[Gri 05] K. Grimm: ANFORDERUNGEN AN DAS SOFTWARE-ENGINEERING AUS SICHT DER AUTOMOBILINDUSTRIE. Jahrestagung 2005 der ASIM-Fachgruppe 'Simulation technischer Systeme' (ASIM-STS'05), Berlin (D), Mar. 2005

[GRS 04] A. Gimblett, M. Roggenbach, and H. Schlingloff: Towards a formal specification of electronic payment systems in CSP-CASL. Selected papers from "WADT 2004. 17th International Workshop on Algebraic Development Techniques" Barcelona, Spain. (March 2004).

[GS 05] M. Grochtmann, L. Schmuhl: SYSTEMVERHALTENSMODELLE ZUR SPEZIFIKATION BEI DER MODELLBASIERTEN ENTWICKLUNG VON EINGEBETTETER SOFTWARE IM AUTOMOBIL. Dagstuhl-Workshop 05022: Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme (MBEES'05), Schloß Dagstuhl (D), 10.-14.1.2005

[GSKM 05] D. Gebauer, B. Scherrer, Markus Kühl, Klaus D. Müller-Glaser: VERFAHREN ZUR AUFSTELLUNG FORMALER METAMODELLE. Design & Elektronik Entwicklerforum: Softwareentwicklung, Oktober, 2005, München.

[KCFG 04] T. Klein, M. Conrad, I. Fey, and M. Grochtmann: MODELLBASIERTE ENTWICKLUNG EINGEBETTETER FAHRZEUGSOFTWARE BEI DAIMLER-CHRYSLER. In B. Rumpe, W. Hesse (Hrsg.): Modellierung 2004, Proceedings zur Tagung, 23.-26. März 2004 in Marburg (D), , Lecture Notes in Informatics (LNI), Band P-45, S. 31-41, 2004

[KM 05] Krupp, Alexander; Müller, Wolfgang: Die Klassifikationsbaummethode für eingebettete Systeme mit Testmustern für nichtkontinuierliche Reglerelemente. In: Cremers, Armin; Manthey, Rainer; Martini, Peter (Hrsg.) Informatik 2005 - Informatik Live! (Bd. 2), GI-Edition Lecture Notes in Informatics (LNI), Nr.P-68, Bonn, Sep 2005.

[KW 06] A. Krupp; W. Müller: Classification Trees for Random Test and Functional Coverage. In: Design, Automation and Test in Europe (DATE 2006), Munich, Germany, Jan 2006

[KW 07] A. Krupp, W. Müller: Systematic Testbench Specification for Constrained Randomized Test and Functional Coverage. In: 21st EUROPEAN CONFERENCE ON MODELLING AND SIMULATION ECMS 2007, Prague, Czech Republic, Jun 2007

[Lam 04] K. Lamberg: AUTOMATISIERTES TESTEN – VON DER EXPERTENANWENDUNG ZUM EINSATZ IM GESAMTPROZESS. Tagung „Testautomatisierung und Hardware-in-the-Loop-Simulation“, Haus der Technik, München, 17.-18. November 2004

[LB 05] K. Lamberg, M. Beine. TESTMETHODEN UND -TOOLS IN DER MODELLBASIERTEN FUNKTIONSENTWICKLUNG. ASIM Fachtagung „Simulations- und Testmethoden für Software in Fahrzeugsystemen“, Berlin, 2005.

[LBEO 05] K. Lamberg, M. Beine, M. Eschmann, R. Otterbach, M. Conrad, I. Fey: Model-based Testing of Embedded Automotive Software using MTest. SAE 2004 Transactions, Journal of passenger Cars - Electronic and Electrical Systems (Vol. 7), pp. 132-140, SAE International, July 2005

[LBEO+ 04] K. Lamberg, M. Beine, M. Eschmann, R. Otterbach, M. Conrad, I. Fey: MODEL-BASED TESTING OF EMBEDDED AUTOMOTIVE SOFTWARE USING MTEST. Proc. SAE World Congress, Detroit (USA), März 2004

[LK 05] K. Lamberg, S. Kohl. HARDWARE-IN-THE-LOOP-TEST - TECHNIK UND METHODE. IAV Tagung „Simulation und Test in der Funktions- und Softwareentwicklung für die Automobilelektronik", Berlin, 2005.

[LM 05] Lavagno, L.; Mueller, W.. Viewpoint - Is there a Future for UML in SoC Design? Chip Design. June 2005.

[Mad 04] M. Mader: Designing Tool Support for Use-Case Driven Test Case Generation. Masters Thesis, The University of Reading, März 2004; FIRST-Bericht

[MM 05] Martin, G.; Mueller, W. (eds.): UML for SoC Design. Springer Verlag, Berlin, 2005.

[MM 05] Martin, G.; Mueller, W. When Worlds Collide: Can UML help SoC Design? In G. Martin, W. Mueller (eds.): UML for SoC Design. Kluwer, 2005.

[Moh 06] Mohamed, Elsayed. Testdatengenerierung aus der Klassifikationsbaummethode CTM/ES. Studienarbeit, Universität Paderborn, März 2006.

[MRGK+ 04] K.D. Müller-Glaser, C. Reichmann, P. Graf, M. Kühl, C. Ritter: Heterogenous Modeling for Automotive Electronic Control Units using a CASE-Tool Integration Platform; Conference on Computer Aided Control Systems Design; Taipei, Taiwan; Sept. 2004.

[MSFK 04] K.D. Müller-Glaser, E. Sax, G. Frick, M. Kühl: Using Multi-Paradigm-Modeling within Embedded Systems Design; IEEE Transactions on Control Systems, 2004.

[MSS 05] A. Martens, H. Schlingloff, K. Schmidt: Modeling and Model Checking Web Services; In: ENTCS - Electronic Notes in Theoretical Computer Science; Volume 126, Pages 1-114, .Issue on Logic and Communication in Multi-Agent Systems, edited by W. van der Hoek; A. Lomuscio; E. de Vink; M. Wooldridge. Elsevier (March 2005)

[MZ 06] Mueller, W.; Zabel, H.. Towards a Unified Behavioural Modelling Language. UML-SoC Workshop der DAC 2006, San Francisco, USA, 2006.

[PCG 05] H. Pohlheim, M. Conrad, A. Griep: EVOLUTIONARY SAFETY TESTING OF EMBEDDED CONTROL SOFTWARE BY AUTOMATICALLY GENERATING COMPACT TEST DATA SEQUENCES. Proc. SAE World Congress 2005, Detroit (US), Apr. 2005. SAE Paper #2005-01-0750

[RGM 04] C. Reichmann, P. Graf, K.D. Müller-Glaser: GENERALSTORE: A CASE-TOOL INTEGRATION PLATFORM ENABLING MODEL LEVEL COUPLING OF HETEROGENOUS DESIGNS FOR EMBEDDED ELECTRONIC SYSTEMS. 11th IEEE Conference on the Engineering of Computer Based Systems 2004, Brno, Czech Republic, Mai 2004.

[Sad 05] S. Sadeghipour: HOW TO USE AUTOMATIC TEST VECTOR GENERATION FOR MODEL COVERAGE? Workshop Model-Based Development and Testing im Rahmen

der 9. World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando (USA), Juli 2005

[SBV 06] R. Stücka, S. Burmester und A. Voß. Werkzeugkopplung im Testprozess. „Hanser Automotive“, Ausgabe 7-8, 2006, S. 24-27.

[SC 04a] I. Stürmer, M. Conrad: CODE GENERATOR CERTIFICATION: A TESTSUITE-ORIENTED APPROACH. In: Plödereder et al. (eds), Automotive - Safety & Security, Shaker Verlag, pp. 81- 85, 2004

[SC 04b] I. Stürmer, M. Conrad: CODE GENERATOR TESTING IN PRACTISE. Proc. 2. Workshop Automotive Software Engineering, Ulm, Sep., 2004

[SC 05] I. Stürmer, M. Conrad: EIN TESTVERFAHREN FÜR OPTIMIERENDE CODEGENERATOREN. Informatik Forsch. Entw. Vol. 19 (2005), Sonderheft Automotive Software Engineering, Jul 2005

[SCDS 04] H. Schlingloff, M. Conrad, H. Dörr, C. Sühl: Modellbasierte Steuergerätesoftwareentwicklung für den Automobilbereich. Workshop Automotive - Safety & Security, Stuttgart (D), Okt. 2004

[SCFD 06] I.Stürmer, M. Conrad, I. Fey, H. Dörr: Experiences with Model and Autocode Reviews in Model-based Software Development, Proc. des Workshop “Software Engineering for Automotive Systems”, Shanghai, May 2006.

[Sch 05] H. Schlingloff: M4M-4 – Methods for Modalities. Proceedings of an International Workshop, Fraunhofer FIRST, Berlin, Dec. 1-2, 2005. Informatik-Berichte der Humboldt-Universität Nr. 194, ISSN 0863-095X, 305 pp. (2005)

[Sch 05] H. Schlingloff: Modellierung von Web Services, Feldafinger Kreis, Bad Honnef, Jan. 16th, 2005; http://www.feldafinger-kreis.de/veranstaltungen/symp05.htm

[SL 05] S. Sadeghipour, M. Lim: EINSATZ AUTOMATISCHER TESTVEKTORGENERIERUNG IM MODELLBASIERTEN TEST. Workshop Modellbasierte Qualitätssicherung – QUAM 2005 im Rahmen der 35. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik INFORMATIK 2005 – Informatik LIVE!, Bonn (D), September 2005

[SLC 05] S. Sadeghipour, M. Lim, M. Conrad: MODELLBASIERTER TEST SICHERHEITSRELEVANTER STEUERGERÄTESOFTWARE. Hanser Automotive, Ausgabe 9-10/2005, S. 94-96

[SM 05] H. Schlingloff, S. Mishra: Loose semantics in the verification of communicating systems, Fourth International Workshop on Automated Verification of Infinite-State Systems (AVIS @ ETAPS 05), Edinburgh, (Apr 2005)

[SMR 05] Schattkowsky, T.; Mueller, W.; Rettberg, A.. Model Based Specification for Platform Independent Hardware Execution In G. Martin, W. Mueller (eds.): UML for SoC Design. Kluwer, 2005.

[SSDC+ 04] H. Schlingloff, C. Sühl, H. Dörr, M. Conrad, J. Stroop, S. Sadeghipour, M. Kühl, F. Rammig, G. Engels: IMMOS – EINE INTEGRIERTE METHODIK ZUR MODELLBASIERTEN STEUERGERÄTEENT-WICKLUNG. Proc. BMBF-Statusseminar „Software Engineering 2006“, Berlin (D), Juli 2004

[Stü 04] I. Stürmer: INTEGRATION OF THE CODE GENERATION APPROACH IN THE MODEL-BASED DEVELOPMENT PROCESS BY MEANS OF TOOL CERTIFICATION. Journal of Integrated Design & Process Science, Vol. 8(2), pp.1-11, 2004.

[Stü 06] I.Stürmer: Systematic Testing of Code Generation Tools. A Test Suite-oriented Approach for Safeguarding Model-based Code Generation, Pro Business, März 2006

[SV 04] H. Schlingloff und S. Vulinovic: Applikationsgeführte softwareinduzierte Fehlerinjektion eines fehlertoleranten Stellwerkscomputers. In: 16th ITG/GI/GMM Workshop "Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen", FhG IAS/EAS, Dresden (Feb. 2004).

[SV 05a] H. Schlingloff, S. Vulinovic: Model based dependability evaluation for automotive control functions; In SimSafe05, Modeling and simulation for public safety, P. Fritzson (ed.), Linköping, May 2005 (SimSafe 05), Linköping (Mai 2005)

[SV 05b] H. Schlingloff, S. Vulinović: Zuverlässigkeitsprüfung eingebetteter Steuergeräte mit modellgetriebener Fehlerinjektion, GI-ASIM-Workshop „Simulation technischer Systeme“ (ASIM-STS 05), TU Berlin (März 2005)

[SW 06] S. Sadeghipour, H.-W. Wiesbrock: AUTOMATISERTE STRUKTURTETS IN DER MODELLBASIERTEN ENTWICKLUNG. 26. Tagung Elektronik im Kraftfahrzeug "Systeme von Morgen - Technische Innovationen und Entwicklungstrends", Dresden (D), Juni 2006

[SWC 05] I. Stürmer, D. Weinberg, and M. Conrad: Overview of Existing Safeguarding Techniques for Automatically Generated Code. 2nd International ICSE workshop on Software Engineering for Automotive Systems, St. Louis (May 2005)

[WB 06] H.-W. Wiesbrock, S. Behnke: MODELLBASIERTE TESTAUSWERTUNG IN HERKÖMMLICHER STEUERGERÄTE-ENTWICKLUNG. AutoTest 2006, Stuttgart (D), Oktober 2006

[Wie 04] H.-W. Wiesbrock: AUTOMATISCHE TESTAUSWERTUNG FÜR STEUERGERÄTE-SOFTWARE. Tagung der Haus der Technik „Testautomatisierung und Hardware-in-the-Loop-Simulation“, München (D), Dezember 2004

[Wie 04] H.-W. Wiesbrock: AUTOMATISCHE TEST-EVALUATION FÜR EINGEBETTETE SYSTEME. Entwicklerforum Softwarequalität und –Sicherheit, München (D), Juli, 2004

[WL 05] C. Wewetzer, K. Lamberg. MTest - eine offene Testumgebung für die modellbasierte Entwicklung. „Design & Elektronik Entwicklerforum Softwareentwicklung“, München, 2005.

[WLB 05] H.-W. Wiesbrock, M. Lim, J. Bielefeldt: KOPPLUNG DER WERKZEUGE DOORS UND CTE XL FÜR EINEN EFFIZIENTEN ENTWICKLUNGSPROZESS DURCH SYSTEMATISCHES TESTEN. DESIGN&ELEKTRONIK Entwicklerforum "Software Entwicklung", München (D), Oktober 2005

II. Erfolgskontrollbericht (Fraunhofer FIRST)

– separate Anlage beim Projektträger –

III. Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel IMMOS - Integrierte Methodik zur modellbasierten Steuergeräteentwicklung	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schlingloff, Bernd-Holger, Prof. Dr.	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.06 6. Veröffentlichungsdatum Oktober 2007 7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Fraunhofer FIRST Kekuléstr. 7 D-12489 Berlin	9. Ber. Nr. Durchführende Institution 10. Förderkennzeichen *) 01ISC31 11. Seitenzahl 42 (incl. Berichtsblatt)
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	12. Literaturangaben: 93 14. Tabellen: 1 15. Abbildungen: 22
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger IT, Dr. Michael Beichert, Berlin, Okt. 2007	
18. Kurzfassung Im Projekt IMMOS wurde der modellbasierte Entwicklungsprozess automobiler Steuergeräte-Software substantiell verbessert. Es wurde eine integrierte Methodik entwickelt und in zahlreichen Publikationen der Öffentlichkeit bekannt gemacht, ein industrieller Arbeitskreis zur Validierung automatisch generierten Codes initiiert, das offene XML-Format „TestML“ zum Austausch von Tests zwischen den verschiedensten Werkzeugen definiert und öffentlich frei verfügbar gemacht, ein Demonstrator entwickelt und auf Messen und Ausstellungen präsentiert, und Spin-Off Unternehmen für die Dissemination der entwickelten Werkzeuge zur Verwaltung von Anforderungen und Richtlinien gegründet. Das Projekt zeichnet sich auch durch ein hohes Publikationsvolumen, mehrere Buchveröffentlichungen und eigene Tagungsbände aus. Aus dem Projekt entstanden zwei florierende Spin-Off-Unternehmen mit bislang über 25 Mitarbeitern.	
19. Schlagwörter Modellbasierte Entwicklung, modellbasierter Softwaretest, Modellierung, eingebettete Steuergeräte, Softwaretechnik	
20. Verlag	21. Preis

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final Report
3. Report Title IMMOS - Integrated Methodology for the Model-Based Development of Embedded Control Devices	
4. Author(s) of the Report [Family Name, First Name(s)] Schlingloff, Bernd-Holger, Prof. Dr.	5. End of Project 31.10.06 6. Publication Date October 2007 7. Form of Publication: Report
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Fraunhofer FIRST Kekuléstr. 7 D-12489 Berlin Germany	9. Originator's Report No. 10. Reference No. *) 01ISC31 11. No. of Pages Report 42 (incl. control sheet)
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	12. No. of References: 93 14. No. of Tables::1 15. No. of Figures: 22
16. Supplementary Notes: None	
17. Presented at (Title, Place, Date) Projektträger IT, Dr. Michael Beichert, Berlin, Oct.2007	
18. Abstract Within the IMMOS project the model-based development process of automotive control devices was substantially improved. The many results of the project include the following: (a) An integrated methodology was defined and publicised in a large number of books, articles and papers. (b) An industrial working group for the validation of automatically generated code was initiated. (c) The open XML format "TestML" for the exchange of tests between various tools was defined and made available to the public domain. (d) A demonstrator was developed and presented at science and trade fairs. (e) Spin-off companies were founded for the dissemination of the developed tools for management of requirements and guidelines. The project is distinguished by a high publication volume, several resulting books, and organisation of conferences. The project led to the creation of two spin-off companies with more than 25 employees.	
19. Keywords Model-Based Development, Model-Based Software Testing, Modelling, Embedded Control, Software Engineering	
20. Publisher	21. Price

